RECUEIL DES ARTICLES PARUS DANS CHRONICA HORTICULTURAE

SUR LES FILIÈRES HORTICOLES FRANÇAISES À L'OCCASION DE L'IHC 2022

Editeurs :
KAHANE Rémi
ROUSSEAU Emmanuelle
GEOFFRIAU Emmanuel
LAURENS François

IHC 2022
ANGERS – FRANCE

Ces articles ont été écrits et édités en langue anglaise pour le magazine Chronica de l'ISHS avant le congrès IHC en Aout 2022. Le pôle de compétitivité VEGEPOLYS VALLEY, co organisateur de l'International Horticultural Congress, a assuré, avec les auteurs, la traduction et la mise en forme de ce recueil fin 2023.
Aussi merci de noter que depuis les premières publications, certains sigles de structures ont évo-lué ainsi que le contexte international pouvant impacter différemment les filières.

Citation de l'ouvrage : Kahane Rémi, Rousseau Emmanuelle, Geoffriau Emmanuel, Laurens François (Eds). 2023. Recueil d'articles sur l'horticulture française parus dans les bulletins de l'ISHS à l'occasion de l'IHC2022. Angers-Montpellier, France : Cirad-L'institut Agro Angers-INRAE-Vegepolys Valley, 100 pages. DOI : 10.19182/agritrop/00189

ISBN: 978-2-87614-831-4 EAN: 9782876148314

Le pôle VEGEPOLYS VALLEY met à disposition de ses membres une version électronique gratuite et pour ses membres et non membres une version imprimée au prix de 25€ TTC.

SOMMAIRE

Panorama de l'horticulture française 5

Défis et opportunités de la filière française de la pomme 17

Le secteur des semences légumières en France 33

La carotte, une production légumière majeure en France 55

Conservation des ressources génétiques horticoles en France 65

La sélection des roses en France : une longue et belle histoire 81

Plantes médicinales, aromatiques et à parfum en France : un secteur petit mais florissant avec une base traditionnelle solide et un réseau de recherche dynamique 95

ÉDITO

François Laurens

Chers lectrices, lecteurs,

C'est avec un immense plaisir que nous vous présentons ce recueil de sept articles, parus dans les pages de la revue de l'ISHS, Chronica Horticulturae à l'occasion du Congrès Mondial IHC 2022 (International Horticultural Congress). Ils mettent en lumière les réalisations des filières françaises du végétal spécialisé, révélant ainsi le dynamisme et l'innovation qui caractérisent ce secteur.

La France, avec sa riche tradition agricole et horticole, joue un rôle de premier plan dans le monde du végétal. Les articles que vous trouverez dans ce recueil sont le fruit d'efforts de recherche, d'investissements et de collaborations qui mettent en avant notre leadership dans le domaine. Ils mettent en évidence également le dynamisme de nos filières pour faire face aux enjeux de demain.

Ce recueil vous permettra d'avoir un large panorama de l'horticulture française en mettant l'accent sur les défis et opportunités des filières pomme, semences potagères, de la carotte mais aussi des plantes médicinales, aromatiques et à parfum. Il vous permettra également d'en savoir plus sur la conservation des ressources génétiques horticoles en France et sur la longue tradition qu'a notre pays en matière de sélection génétique sur les roses.

Au-delà de la technologie et de la science, ces articles mettent également en avant les enjeux sociaux et environnementaux auxquels le secteur du végétal est confronté. Ils soulignent l'importance de l'agriculture et de l'horticulture durables pour répondre aux défis mondiaux tels que le changement climatique, la sécurité alimentaire et la conservation de la biodiversité.

Ce recueil est le fruit de la collaboration entre chercheurs, enseignants, entreprises, organisations professionnelles et gouvernementales, tous engagés dans la promotion d'une filière française du végétal spécialisé résiliente et prospère. Il démontre que l'innovation et la science peuvent coexister avec la tradition pour créer un avenir plus vert et plus durable.

Nous espérons que ces articles vous inspireront, vous informeront et vous inciteront à réfléchir à l'importance des filières françaises du végétal dans le contexte mondial. Que vous soyez un étudiant, un enseignant, un chercheur, un producteur, un représentant d'entreprise ou professionnel découvrant le secteur, nous sommes convaincus que vous trouverez dans ces pages une source de connaissances et d'inspiration.

Nous tenons à remercier chaleureusement tous les auteurs qui ont contribué à ces articles.

Bonne lecture, et que la découverte des filières françaises du végétal vous inspire à participer à la préservation et à la prospérité de notre planète.

Pour le comité d'organisation d'IHC 2022,

François Laurens, Président d'IHC2022.

Panorama de l'horticulture française

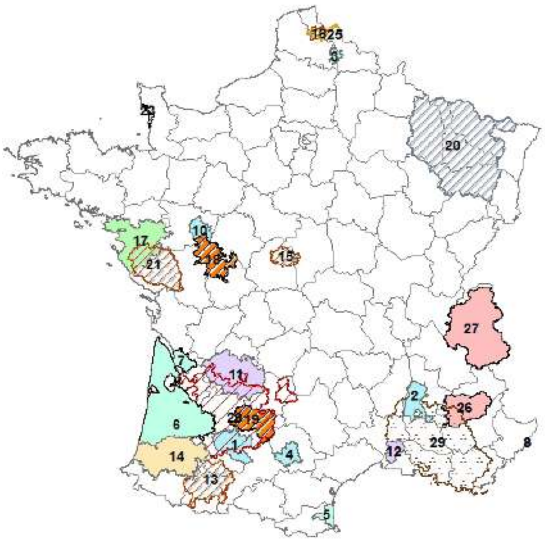
Marie-Agnès Oberti, Claude Chailan and Françoise Brugière.

DIVERSITÉ DE LA PRODUCTION HORTICOLE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE (1)

La France offre une grande diversité de territoires et de paysages qui correspondent à une large gamme de situations microclimatiques.

Ces zones de production sont associées à des traditions et pratiques socioculturelles tout aussi diverses en matière d'alimentation, de consommation saine et de bien-être *(Figure 1)*. Ainsi, dans les secteurs qui composent l'horticulture(2), la gamme des productions françaises et des produits issus de leur transformation est extrêmement diversifiée. En juxtaposant les fruits et légumes, les cultures ornementales et de pépinières, les plantes à parfum et les plantes aromatiques et médicinales (PAM), le nombre de plantes cultivées ou récoltées est estimé à plus de 20 000. La diversité végétale française comprend des territoires et des origines spécifiques qui apportent une valeur ajoutée aux chaînes de production des fruits et légumes (Exemple des IGP et AOP, *Figure 2*).

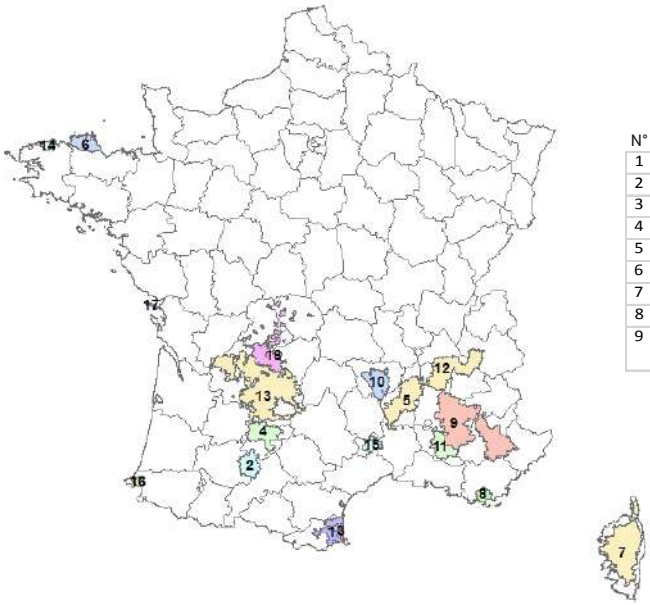
Figure 1
Tour "F&L" (Eiffel) au Salon International de l'Agriculture de Paris, 2014.
©Jacques Bousiquier



N°	Indication géographique protégée (IGP)		
1	Ail blanc de Lomagne	16	Lingot du Nord
2	Ail de la Drôme	17	Mâche nantaise
3	Ail fumé d'Arleux	18	Melon du Haut Poitou
4	Ail rose de Lautrec	19	Melon du Quercy
5	Artichaut du Roussillon	20	Mirabelles de Lorraine
6	Asperge des Sables des Landes	21	Mogette de Vendée
7	Asperges du Blayais	22	Noisette de Cervione
8	Citron de Menton	23	Poireaux de Créances
9	Clémentine de Corse	24	Pomelo de Corse
10	Echalote d'Anjou	25	Pommes de terre de Merville
11	Fraise du Périgord	26	Pommes des Alpes de Haute Durance
12	Fraises de Nîmes		
13	Haricot tarbais	27	Pommes et Poires de Savoie
14	Kiwi de l'Adour	28	Pruneaux d'Agen
15	Lentilles vertes du Berry	29	Thym de Provence

Figure 2A
Cartographie des labels horticoles régionaux (les signes officiels de la qualité et de l'origine, SIQO) en France métropolitaine : Indications géographiques protégées (IGP).

(1) Les données présentées dans cet article n'incluent pas les territoires et départements français d'outre-mer. Elles excluent également le secteur viticole, l'industrie du cidre et du poiré, ainsi que les alcools dérivés et les boissons spiritueuses.
(2) En France, le terme "horticulture" est parfois limité aux secteurs de la production ornementale et des pépinières. Ce n'est pas le cas ici.



N°	Appellations d'origine protégée (AOP)		
1	Abricots rouges du Roussillon	10	Lentille verte du Puy
2	Ail violet de Cadours	11	Muscat du Ventoux
3	Béa du Roussillon	12	Noix de Grenoble
4	Chasselas de Moissac	13	Noix du Périgord
5	Châtaigne d'Ardèche	14	Oignon de Roscoff
6	Coco de Paimpol	15	Oignon doux des Cévennes
7	Farine de châtaigne corse	16	Piment d'Espelette
8	Figue de Solliès	17	Pomme de terre de l'Ile de Ré
9	Huile essentielle de lavande de Haute-Provence	18	Pomme du Limousin

Figure 2B
Cartographie des labels horticoles régionaux (les signes officiels de la qualité et de l'origine, SIQO) en France métropolitaine : Appellations d'origine protégées (AOP).

D'un point de vue agronomique, les systèmes de production sont également très divers. Ils comprennent des systèmes intensifs hors sol dans des serres, qui permettent un contrôle précis des conditions environnementales (légumes, fleurs), des cultures industrielles mécanisées (plantes à parfum, légumes pour la transformation), des « cultures maraîchères » (légumes pour la vente directe, plantes aromatiques), des cultures fruitières et des pépinières.

La plupart de ces secteurs sont à forte intensité de main-d'œuvre. Plus en aval, même si l'on ne considère que la première transformation post-récolte qui est parfois réalisée par les producteurs eux-mêmes (séchage des plantes ou de leurs feuilles, distillation des plantes aromatiques), les opérations techniques sont également diverses, pour couvrir la multiplicité des débouchés commerciaux. Ces opérations mobilisent des matériels et des savoir-faire spécifiques *(Figure 3)*.

Figure 3
Tri des petits pois dans une usine de surgélation de légumes à Loudéac, en Bretagne. ©agriculture.gouv.fr

PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES FILIÈRES

Compte tenu de la diversité évoquée ci-dessus, dans une logique de filière qui constitue le cœur de métier de FranceAgriMer, trois groupes de production présentant quelques caractéristiques principales ont été distingués *(Tableau 1)*.

Tableau 1
Principales caractéristiques économiques et structurelles des différents secteurs horticoles en France[3]
Sources
Données des interprofessions françaises, du ministère de l'Agriculture et des douanes françaises (données moyennes pour 2016-2017). NA : Non applicable ; ETP : Équivalent temps plein (pour les acronymes des organismes français, voir encadrés 2 et 3).
https://agriculture.gouv.fr/mots-cles/hve
https://my-mps.com/ principalement utilisé dans le secteur de l'ornement

SECTEURS HORTICOLES	HORTICULTURE ORNEMENTALE, FLEURISTERIE ET AMÉNAGEMENT PAYSAGER	PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES (PPAM)	FRUITS ET LÉGUMES
Données générales	53 000 entreprises (fermes et sociétés) : production, commerce, aménagement paysager Emplois : environ 170 000 salariés Chiffre d'affaires annuel du secteur : 14 milliards d'euros, y compris la vente de fleurs et de feuillages, plantes de pépinière : 2,5 milliards d'euros (stade de la consommation directe)	Environ 5 000 producteurs (pas nécessairement spécialisés) Chiffre d'affaires annuel du secteur : plus de 5 milliards d'euros (stade de la consommation, données variables selon l'étendue des produits considérés)	75 000 entreprises (exploitations agricoles) Légumes : 5,3 millions de tonnes (dont 35% pour l'industrie de transformation) Pommes de terre : 7,0 millions de tonnes Fruits : 2,7 millions de tonnes (dont 20% pour l'industrie de transformation) Chiffre d'affaires annuel du secteur : 16,5 à 18,0 milliards d'euros (stade de la consommation, pommes de terre exclues) Industrie de transformation : 144 Chiffre d'affaires annuel de l'industrie de transformation : 2,9 milliards d'euros (stade de la consommation)
Activités dans la chaîne de production en amont	**Multiplication du matériel végétal : production de semences (plantes ornementales et légumes), de boutures, de jeunes plants et de greffons, etc.**		
Activités du secteur de la production	Fleurs, feuillages, plantes en pot et plantes à massif, plantes de pépinière (arbres et arbustes), bulbes, etc.	Plantes fraîches ou composantes de plantes (feuilles, graines, racines)	Fruits frais et fruits secs, petits ; Légumes issus de plein champ ou d'abris, champignons cultivés
Activités de première utilisation/première transformation	Bouquets, gerbes, compositions florales, etc.	Séchage ou distillation (fréquente au stade de la production) Autres opérations de transformation nécessitant des installations industrielles (par exemple, surgélation)	Mise en conserve, surgélation, prêt-à-manger (4ème gamme ou transformé), conservation sur sucre, extraction d'huile, confitures, mise en saumure, et boissons (par exemple, jus), fermentation, etc.
Activités de seconde transformation	Aucune	Parfums, arômes, nutraceutiques, médicaments, compléments alimentaires, etc	Mélange de fruits, mélanges ou macédoines de légumes, industries agroalimentaires
Autres utilisations des plantes	Aménagements paysagers pour collectivités ou particuliers	NA	NA

Activités de vente	Vente à la ferme, foires et marchés urbains, jardineries, grande distribution, fleuristes, vente en ligne	Vente à la ferme, industries agroalimentaires	Vente à la ferme, primeurs et marchés urbains, magasins spécialisés en produits frais, grande distribution, vente en ligne Restauration privée et collective
Structures (ou entreprises) de production	3 300 (activité principale)	Environ 5 000 (exploitations)	Fruits : 27 600 exploitations Légumes : 30 800 exploitations (dont 6 000 dédiées à la transformation) Pommes de terre : 19 900 exploitations
Surfaces en production	15 000 à 16 000 ha (dont abris : 1 600 ha)	53 000 ha	Fruits : 170 000 ha Légumes : 220 000 ha (dont abris : 7 500 ha) Pommes de terre : 165 000 ha
Commerce/vente	18 900 entreprises dont : - 395 grossistes, - 15 100 fleuristes, - 3 400 jardineries	Nombreux circuits commerciaux, en fonction de la nature des plantes ou extraits de plantes et de leurs utilisations	Expédition et exportation : 350 Grossistes (y compris les centrales d'achat) : 1 168 Primeurs et détaillants spécialisés en produits frais : 11 700 Hyper et supermarchés : 12 776 Importateurs : 150
Aménagement paysager	30 250 entreprises	-	-
Chiffre d'affaires annuel (au stade de production)	1,6 milliard d'euros (50% plantes/50% pépinières)	0,15 milliard d'euros	8,1 milliards d'euros
Évolution	Réduction du nombre d'exploitations, réduction du nombre d'emplois (ETP)	Forte progression : +40% sur les 5 dernières années	Baisse globale des cultures fruitières contre une stabilité pour les cultures légumières Augmentation significative du segment des produits bio : +16% des ventes en 2017 Lente diminution de la consommation de légumes frais et transformés, stabilité pour les fruits.
Organisations ou groupes de producteurs	Environ 15	Environ 15	225 organisations de producteurs, 300 coopératives (double comptage partiel)
Importation (Valeur)	0,9 milliard d'euros	2,45 milliards d'euros (huiles essentielles)	Fruits : 4,7 milliards d'euros Légumes : 2,1 milliards d'euros
Exportation (valeur)	56 millions d'euros	2,2 milliards d'euros (produits faiblement transformés), plus de 10 milliards d'euros (produits finis)	Fruits : 1,6 milliards d'euros Légumes : 1,1 milliards d'euros
Effectif du personnel de production	19 300	6 000	450 000 (dont 250 000 emplois saisonniers)
Interprofessions	VAL'HOR	CIHEF (huiles essentielles)	INTERFEL ANIFELT

Signes de qualité (certification ou labellisation)	Label rouge et label bleu végétal, haute valeur environnementale (HEV) et Milieu Programma Sierteelt (certification MPS), Fleurs de France, etc.	1 AOP + 1 IGP *(Figure 2)* Certification de l'agriculture biologique, labels rouges, etc.	18 AOP + 28 IGP *(Figure 2)* 24 labels rouges, etc.
Instituts techniques	ASTREDHOR avec un réseau de 10 stations régionales	Réseau de 4 entités, dont ITEIPMAI	Partenariats avec des instituts d'agriculture biologique (ITAB, GRAB) CTIFL et un réseau de 27 stations régionales UNILET (légumes transformés) CNIPT et Arvalis (pomme de terre) partenariats avec les instituts d'agriculture biologique (ITAB, GRAB) CTCPA (Centre Technique de la Conservation et des Produits Agricoles)
Recherche publique	Centres INRAE (Angers, Sophia Antipolis, PACA Avignon) Unités mixtes de recherche avec des établissements d'enseignement supérieur et unités mixtes technologiques avec d'autres partenaires	Centres INRAE (Angers, Clermont-Ferrand, Evry) Établissements d'enseignement supérieur français en partenariat avec le CRIEPPAM et l'ITEIPMAI	Centres INRAE (Angers, PACA Avignon, Bordeaux, Corse, Montpellier, Rennes, Toulouse) CIRAD (Montpellier) Unités mixtes de recherche avec des organismes d'enseignement supérieur et unités mixtes technologiques avec d'autres partenaires

ENJEUX ET DÉFIS

Dans les années 1960 et 1970,

le grand nombre de productions végétales et l'hétérogénéité des exploitations pouvaient être perçus comme des indicateurs du retard de l'agriculture française et de sa difficulté à s'adapter à la modernité. Mais cette perception a beaucoup évolué.

La diversité est aujourd'hui considérée comme une condition essentielle permettant l'adaptation des exploitations agricoles et horticoles aux contraintes du marché et aux attentes de la société.

Dans un contexte d'étalement urbain qui induit une quête de naturalité, les productions horticoles des trois filières véhiculent des valeurs très positives pour la santé et le bien-être, et la résilience face au changement climatique. Au-delà du maintien des marchés locaux avec des produits frais, l'horticulture pour l'aménagement paysager et les loisirs est perçue comme jouant un rôle clé, par exemple en limitant les effets d'îlots de chaleur urbains et en verdissant les espaces urbains.

L'aval de la filière ne s'y est pas trompé, en évoquant les bénéfices potentiels des produits horticoles croisant tous les secteurs : alimentation saine («mangez cinq fruits et légumes par jour»), compléments alimentaires santé extraits des plantes (essor de la nutraceutique), cosmétiques naturels à base de plantes, médecines alternatives à base de plantes, etc. Avec un peu de retard, les produits issus de l'horticulture ornementale sont de plus en plus appréciés pour leurs effets «bien-être» en plus de leur intérêt/fonction décorative.

Le contexte positif actuel est susceptible d'être durable selon de multiples études générales ou sectorielles analysant les attentes des consommateurs. Cependant, à moyen et long terme, il ne constitue cependant pas une rente de situation stable pour les filières concernées, en particulier pour les producteurs qui doivent constamment s'adapter à un ensemble de contraintes par le biais de l'innovation.

(3) France métropolitaine, y compris la Corse, à l'exclusion des Antilles françaises, de la Guyane française, de La Réunion et de Mayotte.

LES ENJEUX PARTICULIERS DES PRODUITS FRAIS

Si certains produits primaires sont immédiatement transformés à la ferme, la destination de nombreux produits est la vente à l'état frais : fruits et légumes, plantes aromatiques, fleurs coupées, plantes en pot. Étant périssables, c'est-à-dire difficilement stockables ou à court terme, ces produits présentent également une sensibilité aux conditions climatiques, plus importante que dans les autres filières agricoles, tant au niveau de l'offre que de la consommation. De plus, la concurrence entre les produits, voire entre les espèces, est réelle et des substitutions s'opèrent tant au niveau de la distribution que de la consommation (ex : jus de fruits *vs.* fruits frais). Cette situation nécessite des capacités d'adaptation permanente de l'amont (producteurs), la mise en place de réseaux d'information fiables (sur les marchés, les coûts, les prix) et une organisation logistique adaptée. Au regard de ce qui existe pour le secteur horticole dans d'autres pays, comme la floriculture aux Pays-Bas, les horticulteurs français ont une marge de progression en termes d'organisation économique et logistique et de partage, mutualisation des données.

MOYENS DE PRODUCTION

Pour les systèmes de production les plus intensifs, les entreprises horticoles sont à forte intensité de capital et mettent en œuvre des savoir-faire de haute technicité en matière de culture, d'adaptation au changement climatique ou de prévention des risques météorologiques, et de protection contre les ravageurs et les maladies. Les exploitations horticoles étant à forte intensité de main-d'œuvre, elles ont souvent des responsabilités sociales au sein des différents bassins d'emploi, tout en devant répondre aux impératifs du marché mondial.

Les filières horticoles françaises se caractérisent par des impacts environnementaux contrastés. Les serres chauffées consomment des ressources fossiles et génèrent des gaz à effet de serre. Cependant, elles peuvent utiliser la cogénération pour optimiser la gestion de l'énergie, et mettre en place des systèmes de protection biologique intégrée (PBI), afin de réduire l'utilisation de produits phytochimiques.
En outre, les plastiques sont fréquemment utilisés pour le paillage, la couverture des tunnels, les filets contre la grêle ou la lutte contre les parasites. La plupart de des matériaux plastique sont souvent difficiles à recycler, même si des solutions existent.

Les systèmes de production de légumes sont devenus particulièrement diversifiés, allant de la production en plein champ pour l'industrie de transformation, aux serres chauffées et éclairées, en passant par les systèmes de maraîchage en plein air ou sous abris bas. Il convient de souligner que différents systèmes peuvent coexister dans une même exploitation.

La production fruitière française a évolué vers une spécialisation régionale *(Figure 4)*. La plantation de vergers productifs s'est largement orientée vers les marchés de produits frais, avec un fort développement de la production fruitière intégrée (PFI) en tant que standard. De 2000 à 2010 (selon l'enquête nationale périodique du ministère français de l'agriculture), le potentiel fruitier national a perdu 25% de sa superficie, mais s'est restructuré grâce à de nouvelles variétés mieux adaptées aux marchés et à des vergers gérés selon les principes de la PFI (pour la pomme, la poire, la pêche, la nectarine et l'abricot) *(Figure 5)*. À ces tendances déjà constatées, certains objectifs émergents se sont ajoutés plus récemment, tels que l'absence de résidus de pesticides et la haute valeur environnementale (HVE).

Figure 4
Vergers rassemblant la collection nationale d'agrumes gérée par l'INRAE et le CIRAD sur la station de San Giuliano, en Corse.
©Xavier Remongin/agriculture.gouv.fr

Figure 5
Récolte d'un verger de «Golden delicious» cultivé sous filet paragrêle dans le Tarn et Garonne, en région Occitanie. ©Pascal Xicluana/agriculture.gouv.fr

Dans le même temps, la part des fruits et légumes produits en bio s'est accrue : de 2001 à 2012, la surface de production de fruits bio est passée de 4,0 à 12,5%, tandis que celle des légumes bio est passée de 1,8 à 4,0%. Cette tendance s'est accélérée entre 2012 et 2016 selon l'agence bio[4]. Cette tendance s'est vérifiée au niveau de la consommation : de 1999 à 2012, le marché mondial des fruits et légumes sous label bio a été multiplié par quatre, et on estime qu'il a doublé de 2015 à 2016, ce segment représentant aujourd'hui environ 10% des parts de marché *(Figure 6)*.

Figure 6
Melons «Charentais» issus de culture bio de plein champ, présents sur les marchés français de juillet à octobre, selon la région de production.
©Xavier Remongin/agriculture.gouv.fr

Figure 7
Le label Fleurs de France pour les végétaux d'ornement en France, un critère de qualité pour les consommateurs.
©Xavier Remongin/agriculture.gouv.fr

Le secteur français de la production ornementale est fortement concurrencé par des pays à bas coûts ou très organisés. Il a également connu une concentration des entreprises avec la disparition de près de la moitié d'entre elles au cours de la dernière décennie. Ces dernières années, ce secteur a décidé de se restructurer et de créer différents outils de différenciation (marques, certifications et labels de qualité) afin de répondre aux attentes des consommateurs et des citoyens en termes de performances environnementales, sociales, économiques et sanitaires *(Figure 7)*.

(4) https://www.agencebio.org/

Le secteur des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM) a largement bénéficié de la demande du marché pour les produits naturels avec une augmentation de 40% de la surface de production au cours des cinq dernières années. Pour ces cultures, majoritairement transformées, les investissements spécifiques ont porté à la fois sur la culture (mécanisation) et sur la transformation (séchoirs, distilleries). Avec la mise en œuvre de moyens techniques qui faisaient largement défaut jusqu'à la fin des années 80, les schémas de production se sont fortement modernisés *(Figure 8),* rassurant les clients sur la qualité de ces matières, et les dissuadant de s'orienter vers d'autres solutions d'approvisionnement (concurrence des produits de synthèse par rapport aux produits naturels).

Figure 8
Récolte mécanique du lavandin en Provence. ©CRIEPPAM

LES DÉFIS DE LA RECHERCHE, DE L'EXPÉRIMENTATION ET DE L'INNOVATION

Pour tous les secteurs,

la recherche appliquée, l'expérimentation et l'innovation sont considérées comme des composantes essentielles de leur développement, de leur pérennité économique et donc de leur maintien sur le territoire national.

Par exemple, malgré la diversité et la qualité de l'offre, la filière française des fruits et légumes souffre d'un manque de compétitivité à l'exportation. Pour analyser cette situation, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation a mandaté FranceAgriMer pour identifier les facteurs ayant affecté négativement la balance commerciale agricole et agroalimentaire au cours des dernières années, et établir un diagnostic au niveau national. Cette analyse sera réalisée par un groupe de travail sous la tutelle de FranceAgriMer, réunissant des spécialistes de l'économie des filières issus de différents ministères et organismes professionnels. Elle vise à imaginer des solutions concrètes pour un avenir meilleur en termes de parts de marché et de capacité d'exportation.

La réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires est l'un des enjeux majeurs auxquels sont confrontés les producteurs aujourd'hui. Compte tenu de la multiplicité des espèces, des variétés et des milieux de culture, les besoins en matière de recherche sont immenses. En corollaire au déclin rapide de l'utilisation des produits chimiques phytosanitaires, les secteurs horticoles ont mis en place des méthodes alternatives dont les objectifs sont de répondre aux attentes de réduction des impacts négatifs de la production végétale sur l'environnement, de développer des produits de haute qualité, et d'éviter que les producteurs horticoles ne se retrouvent dans des impasses techniques. Il convient de noter que bon nombre de ces cultures occupent des superficies modestes par rapport à d'autres grandes cultures telles que les céréales. En conséquence, les entreprises phyto-chimiques investissent peu de ressources pour ces cultures et les usages sont pour une large part qualifiés de « mineurs », c'est-à-dire qu'ils résultent de la transposition de solutions pour une autre culture. Ce travail est souvent effectué par des instituts techniques (voir tableau 1).

Le biocontrôle est aujourd'hui largement développé dans toutes les structures de production sous abri et dans les vergers. Il contribue à une réduction significative de l'utilisation des traitements phytochimiques conventionnels.

Le biocontrôle comprend à la fois l'utilisation d'agents macroscopiques tels que les auxiliaires, de micro-organismes, de produits naturels en protection des cultures (extraits végétaux, produits d'origine animale ou minérale), ainsi que l'utilisation de médiateurs chimiques (composés volatils). Par exemple, l'INRAE étudie les effets phytopharmaceutiques de macro-organismes tels que les trichogrammes. Ces micro-hyménoptères, dont les larves se développent dans les œufs des lépidoptères ravageurs, sont des parasitoïdes efficaces pour freiner le développement des chenilles d'espèces nuisibles (par exemple, la noctuelle de la tomate). Cependant, ces méthodes sont à effets partiels et de nouveaux défis apparaissent fréquemment avec de nouveaux ravageurs : par exemple, aucune méthode n'est aujourd'hui efficace pour contrôler certaines espèces invasives comme la drosophile à ailes tachetées (*Drosophila suzukii*, ravageur sévère des fruits rouges) ou la punaise diabolique (*Halyomorpha halys*). Ainsi, si le biocontrôle est une réelle alternative à l'usage des pesticides, il doit encore accroître son efficacité, en couplant son utilisation à d'autres leviers : les méthodes de protection physique comme les filets anti-insectes souvent installés en complément des filets anti-pluie, les bâches plastiques imperméables, le piégeage de masse.

Pour les productions ornementales sous abri, des techniques alternatives à la réduction des traitements par les régulateurs de croissance (nanifiants) ont également été développées, consistant par exemple en une stimulation mécanique et automatisée des plantes (projet «C@sper» mené par Astredhor).

Pour les cultures de plein champ, des travaux importants sont menés sur les techniques alternatives au désherbage chimique, certaines utilisant les techniques les plus avancées (ex. géolocalisation des plantes, détection et traitement automatique des adventices, robots autonomes).

Pour les cultures pérennes à parfum comme la lavande, des techniques innovantes de couverture végétale entre les rangs ont été développées pour empêcher la propagation des cicadelles (*Hyalesthes obsoletus*), vecteurs du phytoplasme (*Candidatus Phytoplasma solani*) responsable du dépérissement des champs de lavande (*Lavandula* spp.). Par ailleurs, ce travail[5] a mis en évidence d'autres effets favorables du couvert végétal en termes de tolérance à la sécheresse et à la chaleur sur les sols secs des hauts plateaux de Provence où la plupart de ces plantes sont cultivées.

ENCADRÉ 1

Projet EUFRUIT[6] - 3 ans, 2016-19

Le consortium du projet était composé de 21 membres, y compris des instituts de recherche, des universités et des partenaires industriels qui représentent des parties clés de la chaîne d'approvisionnement en fruits, provenant de 12 pays européens. Grâce à une approche multi-acteurs, ce projet (financé dans le cadre du programme européen de soutien à la recherche Horizon 2020) visait à améliorer la mise en œuvre des résultats de la recherche en connaissances pratiques et applicables qui bénéficieront directement au secteur fruitier européen qui est confronté à de nombreuses difficultés. Les difficultés rencontrées sont d'ordre technique, sanitaire ou environnemental, mais aussi économique (marché), alors que le secteur fruitier tente de répondre aux attentes des consommateurs et d'assurer la durabilité des exploitations. Au sein d'EUFRUIT, une plateforme internationale de connaissances a été créée (http://kp.eufrin.eu/) sur les quatre domaines thématiques suivants :

- Développement et évaluation des nouvelles variétés de fruits,
- Limitation des résidus de pesticides,
- Qualité des fruits après récolte,
- Conception de systèmes de production fruitière durables.

Il a été possible de partager une vision complète entre chercheurs et praticiens dans la perspective d'une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse, ce qui a permis une réduction des résidus chimiques dans les fruits et une empreinte plus faible sur l'environnement.

Ce projet a mis en évidence le fort développement de méthodes alternatives aux pesticides chimiques, qu'il s'agisse de bio-contrôle ou de méthodes de contrôle physique (filets de verger contre les ravageurs, couverture plastique contre les maladies), ou d'une combinaison des deux.

DÉVELOPPER L'INNOVATION

Au-delà des solutions techniques attendues par chaque filière pour la résolution de leurs problèmes culturaux et la réduction de leurs coûts de production, la recherche et l'innovation contribuent largement à la dynamique de la filière concernée. C'est notamment le cas de «l'innovation produit», qu'il s'agisse de la diffusion de nouvelles variétés ou de la valorisation des métabolites secondaires extraits des produits horticoles *(Encadré 1)*.

Cet axe d'innovation est particulièrement important dans le secteur des PPAM, où la durée de vie d'un produit final sur le marché peut être éphémère, alors qu'un turnover rapide est observé (plus de 1 000 demandes mensuelles sur le portail d'enregistrement des compléments alimentaires). Pour les produits transformés, les innovations de process sont également très importantes et peuvent grandement influencer l'avenir d'une production végétale. C'est le cas, par exemple, de la modernisation des opérations de récolte *(Figure 8)*, en amont d'une usine de distillation d'huiles essentielles, ce qui peut grandement contribuer au développement des plantes aromatiques ou médicinales *(Figure 9)*.

(5) https://www.sauvegarde-lavandes-provence.org/
(6) https://eufrin.eu/eufruit/eufruit

Dans le secteur des fruits et légumes, l'innovation est le moteur essentiel de la transition agroécologique et de la garantie de la qualité des produits (en particulier la sécurité alimentaire des produits frais destinés à être transformés) *(Encadré 2)*. Dans le secteur des fruits et légumes transformés, l'unité mixte technologique Qualiveg-2, soutenue par le Centre technique de la conservation (et de transformation) des produits agricoles (CTCPA) et l'institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) d'Avignon, est chargée de développer des projets collaboratifs liés à la qualité organoleptique, sanitaire et nutritionnelle des fruits et légumes.
L'innovation augmente la valeur ajoutée *(Encadré 3)* et contribue à la compétitivité des industries françaises qui sont fortement concurrencées au niveau international par des pays dont les coûts de production sont moins élevés. L'innovation organisationnelle est également recherchée, comme la responsabilité sociale des entreprises (RSE) mise en œuvre en aval dans les entreprises de la chaîne de valeur en général, qui contribue à l'approvisionnement local ou au moins national.

Figure 9
Récolte manuelle du souci (Calendula officinalis) pour la distillation en tant que plante médicinale. ©Pascal Xicluna/agriculture.gouv.fr

ENCADRÉ 2

Les acteurs de la recherche et du développement dans le secteur des fruits et légumes

- Le Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL) est le principal organisme de recherche appliquée du secteur français des fruits et légumes, au service des différents professionnels, de la production à la commercialisation. Son programme d'activité annuel est basé sur le programme stratégique du secteur, aligné sur un budget de plus de 20 millions d'euros composé de fonds professionnels (contribution volontaire étendue), de fonds de recherche et d'expérimentation liés à des subventions de programme ou à des projets compétitifs (appels européens ou nationaux), et de fonds privés. Le CTIFL mène des activités d'expérimentation et de recherche, de transfert d'innovation, de veille économique et réglementaire, de formation et de diffusion d'informations et de connaissances auprès des professionnels de l'horticulture. Reconnu comme autorité compétente, le CTIFL est en charge du contrôle et de la certification des matériels de multiplication fruitiers, à l'exclusion des plants de fraisiers. Le CTIFL est présent dans les principaux bassins de production français avec quatre centres régionaux, ce qui constitue, en partenariat ou en association avec les stations régionales d'expérimentation, un réseau d'expérimentation unique en Europe.

- Stations d'expérimentation régionales : le secteur français des fruits et légumes bénéficie également d'un réseau d'environ 30 stations d'expérimentation situées sur leurs territoires en rapport avec la multiplicité des espèces et les questions régionales. Ce réseau historique (années 80) est d'une grande importance car il dispose de capacités expérimentales importantes. Il Il traite de problématiques régionales en lien avec le CTIFL et selon les besoins prioritaires des professionnels. Le financement de ces stations peut être privé et/ou public. La proximité des producteurs favorise une diffusion et un transfert rapide des résultats.

- Les groupements d'intérêt scientifique (GIS) : Le GIS Fruits, créé en 2012 avec 22 partenaires (INRAE, CTIFL, Cirad, organisations professionnelles, enseignement supérieur, etc.), a pour objectif de contribuer à l'innovation orientée vers le développement durable des cultures fruitières par la production de connaissances scientifiques et opérationnelles. Il cherche à accompagner les mutations du secteur fruitier en suscitant et en promouvant des activités de recherche, d'expérimentation, de vulgarisation et de formation.

Le GIS PicLeg (production intégrée de cultures légumières) a été créé en 2007. Il permet de développer des cultures légumières et des systèmes de culture en tenant compte des attentes sociétales conciliant qualité alimentaire, impact environnemental, performance économique des exploitations et exigences sociales. Son champ d'étude prend en compte tous les modes de production (plein champ, hors-sol, serre et abris). Dans le cadre d'une convention décennale (2017-2027), deux thématiques sont développées : le renforcement des connaissances et la conception de systèmes de culture à bas niveau d'intrants à l'échelle de la parcelle, et le développement de nouvelles actions autour de la diversification et de l'organisation des systèmes alimentaires à l'échelle des exploitations agricoles, des territoires et des filières végétales.

ENCADRÉ 3

Les acteurs de la recherche et du développement dans les filières ornementales et pépinières

- ASTREDHOR, l'institut technique de l'horticulture, a été créé en 1995. Il comprend aujourd'hui une unité nationale et six unités régionales, regroupant dix stations expérimentales réparties dans les différents bassins de production horticole français. Il mobilise au total 105 salariés (87 ETP) dont 75% de personnel scientifique. Son budget consolidé est de 6,9 millions d'euros. Son projet scientifique est structuré pour la période 2018-2022 autour de cinq enjeux majeurs pour la filière :

- le développement de systèmes de production alternatifs et l'accompagnement des transitions associées,
- le développement de l'ingénierie verte et la prise en compte des services écosystémiques rendus par les plantes,
- l'émergence de nouvelles opportunités de valorisation industrielle pour la bioéconomie,
- l'adaptation des entreprises aux évolutions économiques et aux marchés,
- l'émergence d'une horticulture « connectée ».

ASTREDHOR est impliqué dans différents dispositifs de partenariat au niveau européen, national ou régional.

- ITEIPMAI : la recherche appliquée et l'expérimentation sur les plantes médicinales et aromatiques sont principalement menées sous l'égide de cet institut technique national par un réseau de quatre structures techniques dont l'ITEIPMAI, le Centre Régional Interprofessionnel d'Expérimentation sur les Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (CRIEPPAM) spécialisé dans les cultures méditerranéennes et leur première transformation, le Dépôt National des Plantes à Parfum, Médicinales et Aromatiques (CNPMAI) assurant la conservation des ressources génétiques, et la Chambre d'Agriculture du département de la Drôme. Ce réseau regroupe environ 55 permanents pour un budget annuel d'environ 4 millions d'euros. Des partenariats avec des centres de recherche publics sont établis au besoin, en fonction de la nature des projets. Dans la mesure où ces productions intéressent peu les sélectionneurs, les firmes phytosanitaires et les fabricants de matériel agricole, le champ d'investigation de ces organismes est très large : amélioration génétique, protection des cultures, désherbage, mécanisation des cultures, premières transformations, appui technique.

LES ÉTUDES PROSPECTIVES DE FRANCEAGRIMER

Que se passerait-il si, dans 25 ans, la sélection des arbres fruitiers n'est plus pilotée que par l'industrie de transformation ? Si les plantes ornementales ne sont plus cultivées que pour leurs capacités de phytoremédiation des sols pollués, de gestion des eaux pluviales, d'atténuation des températures urbaines, etc. Si le changement climatique bouleverse la liste des variétés de fruits et légumes cultivables en France ? Si les magasins d'alimentation disparaissent totalement ? Et si ?

Parce que le futur à long terme n'est ni prédéterminé ni prévisible, parce qu'il ouvre de nombreuses options, et parce qu'il n'émerge jamais du néant mais du présent, porteur de tendances lourdes mais aussi de signaux faibles, les études prospectives permettent d'envisager les marges de manœuvre dont disposent les acteurs pour favoriser l'avènement d'un futur souhaitable, ou du moins choisi en partie. Ces études s'appuient sur une approche systémique qui met en perspective chaque question posée par rapport aux différentes constructions possibles du monde futur. Depuis sa création en 2009, FranceAgriMer a coordonné une série d'études prospectives au sein des secteurs agricole et horticole *(Encadré 4)* afin de construire des représentations communes de ces filières et de dégager des scénarios pour l'avenir. Une fois l'étude prospective achevée, les acteurs du secteur concerné sont invités à analyser les conséquences des différents scénarios émergents. Le débat sur l'avenir qui s'ensuit permet alors de faire émerger des scénarios d'évolution possibles, donnant lieu à une stratégie collective pour le futur.

ENCADRÉ 4

La prospective appliquée à l'horticulture française : exemple du scénario « Variétés fruitières du futur »

Au sein de FranceAgriMer, une petite équipe a réalisé des exercices de prospective pour répondre aux demandes des filières agricoles. Sur la base d'une méthode développée dans les années 90 par Michel Sebillotte à l'INRAE, cette équipe a mis en œuvre différents compléments méthodologiques permettant des changements d'échelle (du national au local, de l'ensemble de la filière à une profession, etc.), et le passage de micro à macro-scénarios. Une douzaine d'exercices ont été réalisés depuis 2009 pour les secteurs végétal et animal. Pour l'horticulture en particulier, les études ont été les suivantes : Prospective sur les fruits et légumes (octobre 2009 - octobre 2011), Prospective sur l'horticulture ornementale (mars 2012 - mars 2014), Prospective sur la chaîne de valeur du cidre (mars 2014 - janvier 2016), Prospective sur les variétés fruitières du futur (avril 2016 - novembre 2018), Prospective sur la filière PPAM française (juin 2018 - octobre 2020). Ces analyses ont donné lieu à la publication d'un rapport complet et d'une synthèse, ainsi qu'à l'organisation de restitutions participatives. Par exemple, la prospective sur les variétés fruitières du futur a produit quatre scénarios contrastés :

- L'innovation variétale pour des vergers adaptés au changement climatique,
- Une dynamique de sélection fruitière maîtrisée pour des consommateurs exigeants,
- Une création lente de variétés fruitières pour un marché à bas prix,
- Des transformateurs au service de l'innovation variétale.

À PROPOS DES AUTEURS

Marie-Agnès Oberti est déléguée pour le secteur des fruits et légumes.

Claude Chailan est délégué pour le secteur de la production de plantes spéciales.

Françoise Brugière est responsable de la mission des études prospectives.

Les auteurs appartiennent à FranceAgriMer *(www.franceagrimer.fr)*, l'Office français des produits de l'agriculture et de la mer, établissement dont la mission est d'appliquer en France certaines des mesures relevant de la politique agricole commune de l'Union européenne, et de mener des actions nationales en faveur des filières agricoles françaises.

Article en anglais paru en janvier 2020, dans Chronica horticulturae, Vol 60(1): 28-35., c'est-à-dire avant la crise Covid, la guerre Russie-Ukraine, et la crise du pouvoir d'achat. Il inclut donc des données qui reflètent un certain optimisme circonstanciel.

Défis et opportunités de la filière française de la pomme

Jean-Luc Regnard, Claude Coureau, Vincent Mathieu, Benjamin Gandubert, Jennifer Lussan, Frédéric Aubert, Xavier Le Clanche, Sandrine Gaborieau, Vincent Guérin et François Laurens.

La production de pommes en France est marquée par une tradition séculaire et de nombreux succès. Son évolution récente est sous-tendue par la diversité des contextes géographiques et des marchés dans lesquels elle s'inscrit. L'impact de la mondialisation représente désormais un défi permanent pour les acteurs de la filière pomme, à la recherche d'une durabilité économique, sociale et environnementale, récemment renforcée par les contraintes sanitaires et le changement climatique. Le présent panorama, non exhaustif, développe les principaux aspects économiques de la filière pomme, sa réalité territoriale, quelques axes de progrès technique, et esquisse quelques pistes pour faire face aux grands défis actuels.

1. La filière pomme en France : l'excellence face aux défis internationaux

CHIFFRES CLÉS DE LA PRODUCTION ET DU COMMERCE

La production de pommes pour le marché du frais est l'un des piliers de l'économie fruitière française, pilier qu'elle tente de maintenir dans le contexte actuel de mondialisation. Entre les années 2000 et 2015, la superficie des vergers commerciaux de pommiers a régulièrement diminué, passant de 53 000 à 36 500 ha, avant de se stabiliser autour de 37 500 ha.

Il y a environ 3500 exploitations de production de pommes, avec une surface moyenne de verger d'environ 11 ha. Cette moyenne masque de fortes disparités : plus de 88 % des vergers français sont situés dans des exploitations fruitières spécialisées, environ 1100, où la taille moyenne des vergers dépasse 30 ha. À l'inverse, on trouve aussi des exploitations polyvalentes de production avec des vergers plus petits, et de petites exploitations familiales produisant des pommes pour des marchés de niche (par exemple, dans le contexte périurbain). La taille des vergers de pommiers certifiés pour la production bio ou en conversion approchera les 9 000 ha en 2020, soit près de 25% de la superficie totale de production.

Le potentiel de la production nationale de pommes a globalement diminué, passant de 2 millions de tonnes (Mt) dans les années 2000 à 1,75 Mt au début des années 2010. Il s'est stabilisé à un seuil de 1,5-1,65 Mt depuis 2014, faisant de la France le 3e producteur européen de pommes derrière la Pologne et l'Italie. Cependant, ce potentiel de production peut être pénalisé par les aléas climatiques dont la fréquence s'est accrue au cours de la dernière décennie (notamment en 2012, 2020 et 2021) *(Figure 1)*. Affectée par le gel de printemps, la récolte de 2021 est estimée à 1,36 Mt. Sur cette base, on peut calculer un rendement moyen d'environ 40 t ha-1, tous vergers de pommiers confondus (extensifs et intensifs, jeunes et matures, conventionnels et bio). Il s'agit d'une performance honorable, très stable depuis les années 2000, qui masque des rendements à l'hectare beaucoup plus élevés dans les vergers les plus productifs.

En termes d'échanges, la France a été le leader mondial des exportations de pommes pour le marché du frais jusqu'en 2003, avec un volume moyen expédié proche de 0,80 Mt. Devancée par d'autres pays exportateurs (Chine, Chili, Italie) à partir de 2004, et plus récemment par la Pologne, la France se classe au 7e rang des exportateurs, avec des flux annuels expédiés de 0,40-0,50 Mt *(Figure 1)*, proches des quantités expédiées par la Nouvelle-Zélande et l'Iran.

En France, la pomme reste le premier fruit exporté en volume et en valeur. Les principaux pays clients sont la Grande-Bretagne et les pays de l'Union européenne (Espagne, Allemagne, Pays-Bas) pour 4/5e des expéditions de pommes françaises *(Figure 2)*. Les autres destinations (1/5e : Moyen-Orient, Asie) sont plus irrégulières, ou disputées par d'autres fournisseurs, notamment sur le critère du prix. Le nombre de pays clients reste néanmoins très élevé, supérieur à 100. Pour les importations (0,15-0,20 Mt) *(Figure 1)*, la France est un marché ouvert, avec 50% de ses fournisseurs européens (Italie, Belgique, Espagne, Pologne), et d'autres situés dans l'hémisphère sud (Chili, Nouvelle-Zélande). Une part importante des importations de pommes comptabilisées en frais est en réalité destinée à la transformation.

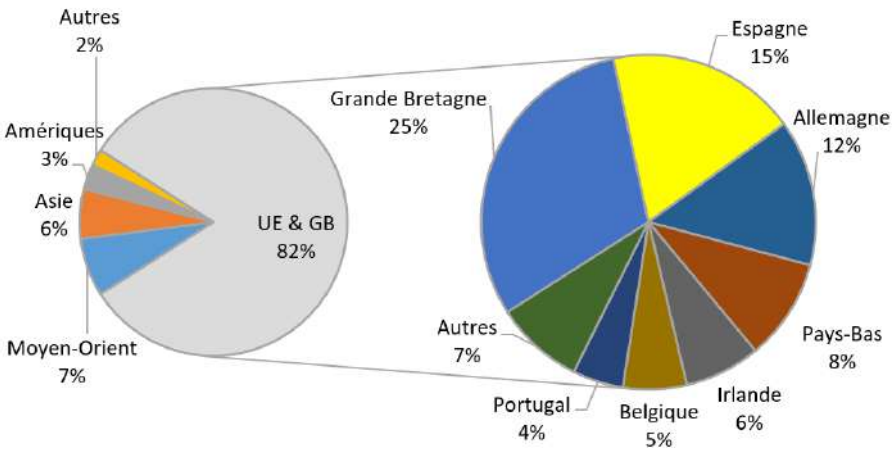
Figure 1
Production, importation et exportation de pommes en France (marché du frais). Par convention, les quantités exportées sont indiquées en valeurs négatives.

Sources :
Agreste statistiques
et douanes françaises.

En 2019,
21% de la production française de pommes récoltées (0,38 Mt) a été dirigée vers la transformation, dont 80% vers l'industrie de la compote.
(FranceAgriMer, 2020).

Pour la fabrication de compotes, la France est le leader européen et exportatrice nette (environ 30 000 t an-1). La consommation intérieure de compote augmente, notamment chez les enfants, avec un positionnement haut de gamme et une part croissante des produits sans sucre ajouté (42% de la fabrication en 2019). La transformation industrielle est un débouché important pour la valorisation des écarts de tri (petits calibres, et fruits abîmés). Ces fruits impropres au marché du frais contribuent également à la lutte contre le gaspillage alimentaire. Pour les pommes françaises transformées, les approvisionnements industriels font l'objet de contrats sous l'égide de l'AFIDEM (Association française interprofessionnelle des fruits et légumes à destinations multiples). Le secteur des fruits à cidre, calvados et eau-de-vie de cidre (0,20-0,25 Mt de pommes à cidre ou à jus par an ; 950 000 hL de cidre par an), basé sur un verger dédié d'environ 9 000 ha, n'est pas couvert par cet article.

Figure 2
Destinations des exportations de pommes depuis la France
Source :
Campagne 2020-21, données Agreste et douanes françaises.



UNE CONSOMMATION SOUTENUE, AVEC UN CONSOMMATEUR ATTENTIF ET EXIGEANT

L'évolution de la consommation de pommes en France (marché du frais) est basée sur les données de Kantar Worldpanel, notamment via l'indicateur des achats des ménages pour l'usage à domicile. Cet indicateur est représentatif à 65% de la consommation totale (source : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, CTIFL), même si la part des fruits consommés hors domicile a tendance à augmenter, à l'exception de la récente période de pandémie. L'analyse des données 2019 (FranceAgriMer, 2021a) montre que la pomme reste le premier fruit acheté par les ménages (16 kg an-1), soit un niveau équivalent à 13 kg par habitant. On observe une tendance à la baisse des volumes de pommes achetés, -1,6% an-1 depuis 2011, compensée en termes de somme dépensée (+1,5% an-1) grâce à des prix de vente plus élevés. La pomme bénéficie d'une bonne image (qualité gustative, santé, praticité) et affiche un taux de pénétration de 88% et un taux de satisfaction supérieur à 90%. En termes de valeur, les achats de pommes représentent 15 à 17% des sommes dépensées au rayon des fruits frais. La part des fruits préemballés dans les achats a augmenté pour atteindre près de 40 % (deux dernières campagnes), tandis que de nombreux consommateurs continuent à préférer le vrac (marchés, ventes directes). Comme une nouvelle réglementation française (depuis le 1er janvier 2022) interdit l'utilisation de sacs en plastique pour les lots de moins de 1,5 kg, on peut s'attendre à une part plus importante des présentations dans des unités de vente en carton ou en bois pour les lots de 4 à 6 fruits *(Figure 3)*, au moins dans la grande distribution.

A B

Figure 3
Présentations des pommes en unités préemballées au stade de détail. **A)** Sachets en plastique de 1,5-3,0 kg utilisés pour les petits calibres et le 2e choix (emballage abandonné pour les lots de moins de 1,5 kg). **B)** Barquettes en carton de 4 ou 6 fruits, parfois avec un assortiment de pommes. Ces linéaires de fruits reflètent la diversité de l'offre variétale française, particulièrement présente chez les grands spécialistes du frais. ©J.-L. Regnard

Les consommateurs français

sont capables de citer entre 2 et 8 variétés différentes (en notoriété assistée), alors qu'ils en consomment cinq en moyenne. (*Cavard-Vibert, 2020*).

Leurs premiers critères de choix en 2019 sont la variété, le prix, l'origine, la fraîcheur et le mode de production. L'offre française de pommes bio devient excédentaire par rapport aux besoins du marché intérieur (20% des familles sont acheteuses, pour 10 à 15 % des volumes). Cela entraîne le retour d'une part des produits bio vers le marché conventionnel.

L'analyse des ventes de pommes par circuit de distribution indique que les hypermarchés, les supermarchés et les hard discounters représentent 60% de la quantité achetée. Ce % marque une légère diminution, alors qu'une augmentation des ventes est constatée pour les formats drive (2%), favorisée par la pandémie de Covid-19, mais aussi pour les grandes surfaces spécialisées dans les produits frais (4%) et les magasins bio (2%). Les magasins primeur, les marchés et la vente directe, totalisent une part de marché proche de 23%.

DES DÉMARCHES COLLECTIVES VISANT L'EXCELLENCE ET RÉPONDANT AUX ATTENTES SOCIÉTALES

La filière française de la pomme est très structurée. En amont, les stratégies collectives, basées sur des organisations de producteurs reconnues, sont regroupées au sein de l'Association Nationale de la Pomme et de la Poire (ANPP). Cette association regroupe près de 1 400 producteurs de pommes et représente environ 70% des surfaces et des tonnages de ce produit. Elle a mis en place une charte de bonnes pratiques arboricoles, à travers la démarche « Vergers écoresponsables » *(Figure 4A)*, matérialisée par le label éponyme, reconnu par le Ministère de l'Agriculture. Elle communique activement sur cette démarche spécifique à la production française à travers différents programmes de communication et des opérations « vergers ouverts ». Le label Vergers écoresponsables a fortement progressé auprès des consommateurs français tant en termes de notoriété (plus de 50% des acheteurs en 2020) et en confiance (77%), ce qui est en accord avec les attentes sociétales en matière de respect de l'environnement. L'ANPP synthétise également la connaissance des marchés nationaux et à l'export pour élaborer des stratégies de filière, développer la connaissance des produits, soutenir et encourager la consommation auprès des consommateurs.

Figure 4
A) Le label Vergers écoresponsables s'applique aux fruits issus de la charte de qualité des producteurs de pommes français. Officiellement agréé, ce label certifie que la production provient de vergers affiliés à l'ANPP, engagés dans la production de fruits sains, savoureux et de qualité, selon des méthodes de production fruitière intégrée respectueuses de l'environnement et de la biodiversité, ainsi que de la pérennité économique des exploitations. L'ajout de la bannière tricolore est une réponse aux attentes des consommateurs français en matière de produits locaux. **B)** Le label français de haute valeur environnementale (HVE) est relatif aux exploitations fortement impliquées dans des objectifs environnementaux. Ce très haut niveau de certification, non spécifique à la production fruitière, mais complémentaire du précédent, est attribué après un contrôle externe des procédures et des indicateurs de résultats.

Une quinzaine de familles professionnelles du secteur des fruits et légumes frais sont regroupées au sein d'Interfel, organisation interprofessionnelle de droit privé reconnue par l'Union européenne. Parmi ses actions, Interfel participe à la gouvernance du CTIFL, notamment dans ses orientations de recherche et de développement. Interfel oriente également les actions de l'Agence pour la recherche et information en fruits et légumes (Aprifel), qui rassemble et diffuse les connaissances sur les liens entre la consommation de fruits et légumes et la santé afin de promouvoir leur consommation. Fin 2017, les interprofessions françaises des fruits et légumes frais et transformés ont remis aux pouvoirs publics un plan de filière. Ses principaux objectifs visent à renforcer la compétitivité, soutenir la consommation et renforcer la place des produits et des entreprises à l'international. Ces interprofessions ont été des interlocuteurs privilégiés du gouvernement français pour l'élaboration du plan stratégique national (PSN) récemment soumis aux autorités européennes. Il s'agit d'un prélude à l'élaboration de la future politique agricole commune (PAC 2023-2027), qui sera ambitieuse en matière d'environnement et de climat (Green Deal).

FORCES ET FAIBLESSES DE LA FILIÈRE POMME FRANÇAISE

La place de la France dans la filière internationale de la pomme est étudiée par une veille concurrentielle publiée annuellement à l'attention des acteurs de la filière, comparant les principaux pays producteurs de pommes, sur la base de différents critères allant de la production au consommateur. La dernière édition de cette veille (FranceAgriMer, 2021b) montre que la France était classée 7e pour la compétitivité en 2019, grâce à certains atouts : la diversité de son offre variétale, le taux de renouvellement satisfaisant de ses vergers (4,3% en moyenne), la technicité de ses producteurs, la dynamique de la filière bio, et un ensemble de facteurs naturels favorables (climat, disponibilité en eau). La production française de pommes reste handicapée par des coûts de production élevés, la perte de surface de vergers (bien que stabilisée depuis 2015), qui limite le potentiel en volumes, avec une contraction des quantités exportées.

2 . Un riche potentiel de production pour des marchés diversifiés et exigeants

CHIFFRES CLÉS DE LA PRODUCTION ET DU COMMERCE

La production de pommes en France se caractérise par une grande diversité. Celle-ci résulte des conditions pédoclimatiques variées que l'on trouve dans les différents bassins, mais aussi de la grande diversité des variétés cultivées, renforcée par les programmes de sélection actifs et le taux de renouvellement des vergers. Les zones de production de pommes françaises sont principalement situées dans les plaines irriguées, mais aussi en coteaux ou en piémonts *(Figure 5)*, ou encore dans les ceintures vertes.

Figure 5
Vergers de pommiers en Limousin. L'altitude moyenne (350-500 m), le contraste des températures jour/nuit, les sols sur socle cristallin, associés au savoir-faire local, contribuent à la réputation de l'appellation d'origine protégée (*AOP*) « Pomme du Limousin ». Le cahier des charges de l'AOP préconise un indice de réfraction d'au moins 12,5 °Brix, une fermeté d'au moins 5 kg cm² et une acidité d'au moins 3,7 g d'acide malique par litre de jus. ©F. Besse

Selon les statistiques officielles du Ministère de l'Agriculture, la répartition des régions françaises pour une récolte normale de pommes (sans gelée de printemps) montre les principales origines des volumes de fruits récoltés : Provence-Alpes-Côte d'Azur (23%), Occitanie (21%), Nouvelle Aquitaine (20%) et Pays de la Loire (17%), tandis que des volumes significatifs proviennent des régions Auvergne Rhône-Alpes (7%) et Centre Val de Loire (5%).

La répartition des principales variétés de pommes dans les vergers ANPP est présentée dans la *Figure 6*. Elle montre l'importance de la variété «Gala» (souvent 25%) dans les bassins de la Provence, du Languedoc, du Tarn-et-Garonne et de la Vallée de la Loire, une part élevée de «Granny Smith» et de «Pink Lady» en Languedoc-Roussillon, et quelques particularités telles que la dominance de la «Golden Delicious» dans les Alpes et le Limousin, la part de la «Belchard® Chantecler$_{cov}$» dans les Charentes et l'Aquitaine, et la présence de pommes régionales en Bretagne et de la «Boskoop» dans le nord. La diversité de l'offre, à la fois variétale et régionale, repose sur l'analyse des besoins du marché (national ou export), des opportunités locales et des caractéristiques du milieu physique. Une large gamme de variétés est ainsi accessible aux spécialistes français de la distribution de produits frais.

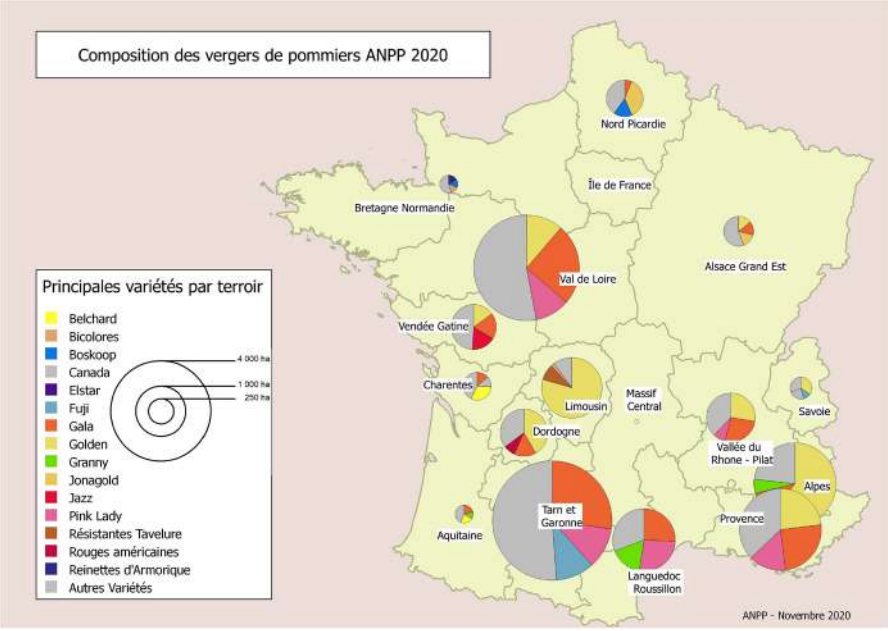


Figure 6
Carte des implantations variétales dans les régions productrices de pommes en France pour les vergers affiliés à l'ANPP. Les surfaces des camemberts sont relatives à l'importance territoriale et indiquent la part des principales variétés.
Source : ANPP, novembre 2020.

La production des vergers français peut être segmentée en trois grands groupes de variétés *(Tableau 1)* : les variétés internationales, destinées à la fois au marché national et à l'exportation (71% des quantités 2018-2020, en légère baisse), les variétés «club» , visant une meilleure valorisation sur l'un ou l'autre de ces deux marchés (17% des volumes produits, avant application du cahier des charges, en légère hausse), et les variétés dites « de terroir » (8%) plutôt adaptées au marché national, voire régional. Certaines productions de pommes bénéficient également de signes officiels de qualité : les indications géographiques protégées (IGP) «Pommes et Poires de Savoie» (depuis 1996) et «Pommes des Alpes de Haute-Durance» (depuis 2010), et l'appellation d'origine protégée (AOP) «Pomme du Limousin» (depuis 2007). Ces terroirs ont permis de distinguer certaines caractéristiques favorables acquises à 350-450 m d'altitude («Golden Delicious» notamment). Un label rouge peut être associé à une partie de cette production, pour les «Golden Delicious» et les «Gala», avec un minimum de 13,5° Brix, récoltées à un stade optimal de maturité.

À l'instar des pommes «Pink Lady®» («Cripps Pink» et ses mutants), certaines innovations variétales sont lancées et managées en «clubs» *(Tableau 1)*, les variétés étant plus ou moins exclusives à quelques metteurs en marché, qui vendent le fruit sous une marque exclusive, basée sur la typicité du fruit (par exemple, «Jazz®», «Joya®», «Honeycrunch®», «Juliet®», et «Les Naturianes®» Ariane). Suivant ce concept, , des variétés à chair rouge ont été récemment mises sur le marché (marques «Kissabel®» ou «Red Moon®»), également destinées à la vente exclusive. En revanche, les variétés récentes résistantes à la tavelure créées dans le cadre du partenariat INRAE/NOVADI («Story®» Inored$_{cov}$, «Garance®» Lespin$_{cov}$, «Mandy®» Inolov$_{cov}$, «Lory®» Inogo$_{cov}$, et «Galy®» Inobi$_{cov}$, voir ci-dessous) ne sont pas destinées à une distribution exclusive, mais bénéficient de stratégies de marque visant à accroître leur valeur marchande et leur visibilité auprès des consommateurs. Un nombre croissant de variétés récentes présentant une bonne rusticité, résultant d'une résistance ou d'une tolérance à la tavelure, sont également plantées *(Tableau 2)*. Certaines d'entre elles conviennent à la production selon les principes de l'agriculture biologique et sont adaptées à des marchés de niche ou à des circuits courts. Compte tenu de la capacité de la tavelure à surmonter la résistance génétique due au gène Vf/Rvi6, certains traitements sont encore nécessaires pour ces variétés, ciblés sur les pics d'infection du pathogène. Des recherches actives sont menées (INRAE et partenaires internationaux, Laurens et al., 2018) pour surmonter cette difficulté par la sélection d'une résistance durable à ce pathogène.

FOCUS

Un partenariat public-privé dans la sélection des pommiers

Depuis plus de 25 ans, l'éditeur NOVADI et l'INRAE mènent un programme de sélection, dédié à la sélection de variétés de pommes qui offrent naturellement un haut niveau de résistance aux bio-agresseurs. Les principaux objectifs de la sélection variétale comprennent un ensemble de caractéristiques agronomiques favorables : résistance ou tolérance aux races communes de tavelure, à l'oïdium et au feu bactérien, absence d'attrait pour les pucerons, facilité de gestion des arbres, production régulière de fruits de qualité supérieure (arôme, équilibre sucre/acide, jutosité, texture fine) atteignant des pourcentages élevés de « packing out » grâce à une présentation attrayante, et ayant une longue durée de conservation. Les différentes étapes du processus de sélection sont menées conjointement, avec une implication prédominante de la recherche publique dans les étapes en amont (pre-breeding, schémas de croisement, phénotypage avancé) et un engagement fort des partenaires privés pour l'évaluation agronomique. En particulier, la fin du programme de sélection consiste à poursuivre les observations des meilleurs hybrides dans un dispositif proche des conditions de production, avec des vergers expérimentaux représentatifs de différents contextes pédoclimatiques. Cette étape d'évaluation du comportement variétal s'appuie au niveau national sur le système français d'évaluation des variétés et au niveau européen sur un réseau international composé de partenaires qui évaluent l'adaptation des présélections aux différentes conditions pédoclimatiques. La société NOVADI (https://www.novadi.fr/), qui regroupe treize pépiniéristes français produisant du matériel de de multiplication pommier pour les producteurs professionnels, est l'éditeur/gestionnaire mondial exclusif des variétés issues de ce programme.

Depuis les années 1980,

les producteurs français tendent de plus en plus à planter des variétés de pommes aux fruits plus sucrés et moins acides, de calibre moyen, à la chair très ferme et à la bonne capacité de conservation.
(Collectif, 2021).

Ces orientations sont censées répondre aux attentes des consommateurs, y compris les plus jeunes, en termes de plaisir gustatif, ou d'adaptation à la consommation nomade. Mais elles doivent aussi répondre aux attentes de la distribution de la filière, en termes de tolérance à la manutention et au transport. Il est nécessaire que la filière pomme reste attentive à ce que la grande diversité variétale disponible ne soit pas contre-productive en termes de notoriété sur les marchés de détail. Il est à noter que ce risque peut être amplifié par les différentes marques existant pour une même pomme, sans oublier les nombreux labels qualifiant les méthodes de production.

Varieties	2018-20 (1,000 t)	%
Golden Delicious*	403	27.1
Gala*	297	20.0
Granny Smith*	141	9.5
Fuji*	59	3.9
Braeburn*	59	4.0
Red Delicious*	52	3.5
Jonagold*	27	1.8
Elstar*	16	1.1
Sous total var. internationales	**1,054**	**70.8**
Pink Lady® Cripps Pink$_{cov}$*	163	11.0
Jazz® Scilate$_{cov}$	24	1.6
Joya® Cripps Red$_{cov}$	13	0.9
Honey Crunch® Honeycrisp$_{cov}$	15	1.0
Juliet® Coop 43$_{cov}$	13	0.9

Tableau 1
Répartition de la production de pommes en France par variété (marque déposée ®, dénomination du cultivar et certificat d'obtention végétale cov), pour la moyenne des campagnes 2018-20 (en 1 000 t et en %, source ANPP). Pour de nombreuses variétés (*), des mutants sont disponibles, avec soit une précocité modifiée, soit moins de défauts cosmétiques, soit une couleur de peau plus intense.

Les Naturianes® Ariane$_{cov}$	15	1.0
Choupette® Dalinette$_{cov}$	5	0.3
Tentation® Delblush$_{cov}$	6	0.4
Sous-total variétés « club »	**254**	**17.1**
Belchard® Chantecler$_{cov}$	52	3.5
Canada	39	2.6
Boskoop*	8	0.6
Reine des Reinettes*	11	0.7
Goldrush® Coop 38$_{cov}$	5	0.4
Rubinette® Rafzubin$_{cov}$	5	0.3
Sous total variétés de terroir	**120**	**8.0**
Idared	3	0.2
Autres	58	3.9
TOTAL	**1 488**	**100.0**

Tableau 2
Principales variétés de pommes adaptées à la production bio en France. Le comportement vis-à-vis de la tavelure est mentionné, soit la résistance (gène Vf/Rvi6), soit la tolérance, ainsi que le contrôle de la distribution de la variété (marque ou club) et les principaux objectifs de marché (L/S = circuit long et/ou court ; S = circuit court). Marque déposée®, dénomination du cultivar et certificat d'obtention végétale cov.

Maturité	Marque déposée	Dénomination	Tavelure	Gestion var.	Distribution
Précoce	Antares®	Dalinbel$_{cov}$	Résistance	Marque	L/S
Demi-précoce	Cœur de Reine®	Daliclass$_{cov}$	Tolérance	« Club »	L/S
Demi-précoce	Pixie Crunch®	Coop 33$_{cov}$	Résistance	Marque	L/S
Demi-précoce	Crimson Crisp®	Coop 39$_{cov}$	Résistance	Marque	S
Saison	Les Naturianes®	Ariane$_{cov}$	Résistance	Marque	L/S
Saison	Evelina®	Roho 3615$_{cov}$	Tolérance	« Club »	L/S
Saison	Opal®	UEB 32642$_{cov}$	Résistance	« Club »	S
Demi-tardive	Candine®	Regalyou$_{cov}$	Résistance	« Club »	L/S
Demi-tardive	Choupette®	Dalinette$_{cov}$	Résistance	« Club »	L/S
Demi-tardive	Story®	Inored$_{cov}$	Résistance	Marques	L/S
Tardive	Juliet®	Coop 43$_{cov}$	Résistance	« Club »	L/S
Tardive	Swing®	Xeleven$_{cov}$	Résistance	« Club »	L/S
Tardive	Goldrush®	Coop 38$_{cov}$	Résistance	Marques	S

3 . Face aux stress abiotiques et biotiques, une conception du verger visant une meilleure résilience

Les zones d'implantation

des vergers de pommiers font l'objet d'une attention croissante afin d'éviter les zones les plus sujettes aux gelées printanières, les situations humides (bas-fonds, sols mal drainés), ou encore les endroits où les sols sont trop légers ou trop alcalins.

La question de l'adaptation au changement climatique est à l'ordre du jour des producteurs, notamment en considérant le choix des situations irrigables. À titre d'exemple, les pommiers du Limousin ont été cultivés sous régime pluvial pendant des décennies, alors que les vergers récents de cette région sont désormais installés avec l'appui de l'irrigation. Au-delà de cet exemple, la création de nouveaux vergers pose la question cruciale de la ressource en eau. En effet, en dehors des réseaux collectifs d'irrigation existants, les pomiculteurs sont confrontés à des difficultés administratives ou réglementaires pour créer des retenues d'eau de surface, notamment dans le cadre d'exploitations individuelles. En 2021, cette question a été au cœur de l'actualité française, lors des rencontres du Varenne de l'Eau. Les pouvoirs publics sont favorables à la création de nouvelles ressources collectives en eau, rendues nécessaires par le changement climatique ou la maîtrise des risques, et soutiennent l'émergence de projets de territoire de gestion de l'eau (PTGE). Cependant, ces projets doivent être mis en œuvre dans le respect de la législation sur les zones humides, ce qui peut révéler des oppositions entre les parties prenantes (par exemple, agriculteurs contre environnementalistes).

L'anticipation d'hivers doux défavorables au besoin de froid de l'arbre (c'est-à-dire à la levée de la dormance des bourgeons) a conduit à évaluer en France le comportement de variétés de pommiers à faibles besoins en froid, notamment issues de la sélection brésilienne. Ces essais n'ont pas donné lieu à une mise en œuvre à ce jour car ces variétés à floraison très précoce sont exposées au gel. La lutte contre les gelées de printemps conduit de plus en plus d'arboriculteurs à équiper les vergers de moyens de lutte active, par irrigation par aspersion, par chauffage ou machines à vent. Pour protéger les plantations des dégâts et des pertes de production dus à la grêle, pertes pour lesquelles l'assurance est prohibitive voire impossible, la plupart des vergers français plantés depuis le début des années 2000 sont protégés par des filets paragrêle *(Figure 7)*. Ce type de protection, qui peut coûter plus de 12 000 euros ha-1, sans compter la main d'œuvre d'installation, nécessite un déploiement annuel juste après la floraison et un repli après la récolte. Des bâches plastique anti-pluie contre la tavelure peuvent être combinées avec ces filets.

A B

Figure 7
Les vergers de pommiers français sont majoritairement protégés par des filets paragrêle. Les filets sont tendus avec des sandows **A)** . En cas d'orage de grêle, les grêlons sont retenus par la structure **B)** ou tombent dans l'inter-rang, sans endommager la végétation.
©Blue Whale.

La protection physique est utilisée pour lutter contre les insectes. Un nombre croissant de vergers (surtout en bio) situés dans les régions méridionales les plus exposées ont adopté le système de protection par filet «AltCarpo» pour réduire les dégâts causés par le carpocapse. Les filets peuvent être placés directement sur la rangée d'arbres (filet mono-rang) ou installés au-dessus et en périphérie (système «mono-parcelle», *Figure 8*). Certains filets ont une double action contre la grêle et les insectes.

Figure 8
Jeune verger de pommiers cultivé en bio protégé des attaques du carpocapse par un périmètre d'exclusion et un filet de couverture (système «mono-parcelle»). Les mailles du filet, 5,5×2,2 mm, empêchent l'entrée du ravageur et ses piqûres de ponte. ©J.-L. Regnard.

Dans la plupart des vergers, par ailleurs, la recherche des équilibres naturels incite les arboriculteurs à renforcer ou mettre en place des infrastructures agroécologiques, source de biodiversité, qui sont souvent recommandées ou imposées par les cahiers des charges de production. Ainsi, la conception des vergers est attentive à la biodiversité végétale avec la mise en place de l'enherbement de l'inter-rang, jusqu'à 60% des surfaces, le semis annuel de jachères fleuries (*Figure 9A*), et la plantation de brise-vent. Ces structures végétales, surtout lorsqu'elles sont plurispécifiques, peuvent avoir un intérêt mellifère et accueillir une faune utile (auxiliaires prédateurs ou parasites, insectes pollinisateurs), ce qui facilite la lutte biologique par conservation. Avec les mêmes objectifs, différents cahiers des charges préconisent également l'installation de nichoirs pour les oiseaux insectivores (ex : mésanges) (*Figure 9B*), de perchoirs pour les rapaces (prédateurs de campagnols), voire d'abris à hérissons ou d'hôtels à insectes. Ces investissements agroécologiques peuvent être envisagés à l'échelle de la parcelle, voire à l'échelle supra-parcellaire, en prêtant attention aux corridors d'interconnexion au niveau de l'exploitation fruitière ou du paysage.

Les actions de prévention et de contrôle passif des dommages climatiques et des agressions biotiques doivent être conçues dès l'implantation du système de verger, afin de contribuer à son efficacité ultérieure en vue d'une production fruitière durable. Compte tenu de leurs effets partiels, elles nécessitent des compléments en termes de lutte directe annuelle, autant que possible en utilisant les moyens de biopontrôle disponibles (par exemple, la confusion sexuelle ou la lutte biologique, etc.)

A B

Figure 9
A) Bande fleurie semée autour du verger.
B) Nichoir à mésanges placé dans un verger de pommiers. ©Blue Whale

4 . Une gestion technique innovante du verger

UNE ÉVOLUTION CONTINUE GUIDÉE PAR DES FACTEURS ÉCONOMIQUES ET SOUTENUE PAR LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT

La conduite technique des vergers de pommiers en France a connu une évolution constante depuis les années 1960-70. À cette époque, les systèmes de haies ont été adoptés comme un standard adapté à l'intensification par la mécanisation des opérations culturales (interventions réalisées à partir des inter-rangs, comme la pulvérisation phytosanitaire) et l'assistance aux opérations manuelles par des plates-formes (taille, récolte) *(Figure 10)*. Pour des raisons économiques, des systèmes de plantation en rangs multiples à haute densité ont ensuite été expérimentés (années 1970-80), suivis par des concepts de vergers «piétons» (années 1980-90). Cependant, il n'y a pas eu d'adoption significative de ces systèmes, soit en raison d'investissements excessifs, soit en raison de déficits de rendement à maturité. L'objectif d'une production fruitière de qualité a également été de plus en plus présent, en réponse aux attentes des marchés. Les premières chartes professionnelles de production datent de cette époque, notamment pour les pommes et les poires. Les initiatives des arboriculteurs ont convergé pour aboutir à une Charte Nationale de Production Fruitière Intégrée (1997), aujourd'hui appelée Vergers Ecoresponsables, soutenue par l'organisation ANPP. Ces avancées ont été rendues possibles grâce à une approche systémique, consistant à synthétiser les connaissances scientifiques et pratiques issues des travaux de recherche et de développement en production fruitière, menés par l'INRAE, le CTIFL, et les stations d'expérimentation régionales, également alimentés par les données des réseaux de conseillers techniques, en contact étroit avec les arboriculteurs.

A B

Figure 10
A) Récolte de pommes organisée à partir du sol, avec dépôt direct des pommes dans des palox. ©Blue Whale.
B) Récolte assistée par une plate-forme automotrice, portant des cueilleurs situés à différentes hauteurs. ©J.-L. Regnard.
Le système de haies fruitières palissées est essentiel à l'organisation efficace de la récolte.

Ainsi, au milieu des années 1990, les travaux du groupe Mafcot (« Maîtrise de la Fructification Concepts et Techniques ») co-animés par l'INRAE et des conseillers techniques, ont diffusé des concepts innovants de conduite du pommier basés sur la connaissance du comportement variétal et de la physiologie de l'arbre, issus en partie d'observations de terrain, et visant à réguler la charge en fruits et à renforcer la maîtrise de la bisannuelle (Lauri et al., 2004 ; Lauri et Simon, 2019).

Parallèlement, d'autres approches expérimentales ont été développées, notamment par le CTIFL, plus axées sur l'adaptation à la mécanisation, dont un concept de « mur fruitier » basé sur une taille mécanique annuelle des haies d'arbres (Masseron, 2002). Aujourd'hui, la difficulté croissante à recruter du personnel permanent qualifié dans des exploitations fruitières orientées vers les variétés internationales et les circuits longs semble favoriser un retour à une gestion très simplifiée des vergers, avec des densités de plantation plus élevées que dans les années 2000, visant à atteindre rapidement les performances des vergers adultes (Roche, 2020), ce qui contribue à améliorer le retour sur investissement. Un rendement élevé est un diviseur de charges par kilogramme de fruit produit, ce qui permet de contenir les coûts de production malgré des investissements initiaux lourds (plus de 50 k€ ha-1). Dans les plantations récentes, la rangée de pommiers forme une géométrie étroite dite 2D, dans laquelle la taille est simplifiée et facilitée ; les haies fruitières génèrent moins de gradients lumineux internes, ce qui favorise l'homogénéité des fruits et améliore le taux de récolte. Les allées, d'une largeur classique de 4 m, tendent à devenir plus étroites, avec un espacement des rangées de 3,00-3,50 m.

Par conséquent, la densité de plantation augmente et peut atteindre ou dépasser 3 000 arbres ha-1, ce qui augmente les investissements. Avec cette conception de verger, le mètre linéaire de haies fruitières par hectare est également augmenté, ce qui a un impact sur les temps d'opération mécanique.

L'objectif de mécanisation reste plus que jamais à l'ordre du jour, avec par exemple la pratique de l'éclaircissage mécanique des arbres dès la floraison (outils Darwin® ou Eclairvale®, notamment en agriculture biologique). Différentes formes semblent appropriées pour établir ces nouveaux vergers de pommiers, par exemple l'arbre à deux branches (Bibaum® ou Ypsilon®) installé à la plantation *(Figure 11)*, grâce à la préformation des pommiers en pépinière, ou à la formation multileader *(Figure 12)*. L'adoption de ces modes de conduite induit également un changement dans la gamme des porte-greffes, la vigueur des types G11 étant considérée comme adéquate, supérieure à celle des types M9, jugée insuffisante, surtout en replantation. De ce fait, la gamme traditionnelle des types M9 tend à être remplacée par de nouveaux porte-greffes favorables à une fructification rapide, avec une tolérance aux bio-agresseurs telluriques et un meilleur ancrage.

A B

Figure 11
Pommiers à deux branches. **A)** Détail de la ramification obtenue en pépinière. *©J.-L. Regnard* **B)** Verger adulte en production basé sur ce type d'arbre, montrant la porosité de la haie fruitière. ©CTIFL.

Figure 12
Essai de conduite de pommiers multi-axes en France, établi selon un système de formation en Double Guyot. ©CTIFL

CAHIER DES CHARGES ET PRODUCTION FRUITIÈRE

Dans les années 1980, la grande distribution a influencé la production fruitière, chaque distributeur soumettant ses fournisseurs à son propre cahier des charges, avant que les distributeurs européens de l'Euro-Retailer Produce Working Group n'établissent un référentiel commun de bonnes pratiques agricoles (Eurep-Gap, 1997). Leurs pratiques visaient une alimentation plus sûre, basée sur des méthodes de production durables, notamment pour les fruits, et sur la responsabilité sociale. En 2007, ce référentiel a évolué pour devenir Global Gap, une norme incontournable pour les organisations collectives de producteurs de pommes souhaitant accéder au marché national ou surtout à l'exportation. Face aux exigences de la distribution, les organisations de producteurs de fruits s'efforcent de réagir pour affirmer leurs propres règles et tenter de les faire reconnaître. Ainsi, la Charte nationale de production (fin des années 1990) a évolué vers la démarche Vergers éco-responsables citée plus haut (2011) puis accréditée comme certification environnementale de niveau 2, soit un niveau compatible avec les référentiels de la distribution. Cette démarche de progrès, orientée vers la durabilité environnementale, économique et sociale, vise à atteindre très rapidement, pour la moitié des exploitations fruitières, le label officiel français HVE *(Figure 4B)*. D'autres référentiels peuvent se superposer à la charte de production pour spécifier une caractéristique supplémentaire ; l'un, axé sur la promotion d'une production citoyenne à fort ancrage local, est représenté par la démarche «Demain la Terre» (collectif Nouveaux Champs) tandis que l'autre, « Bee friendly », visant à protéger les insectes pollinisateurs, a été adopté par diverses organisations de producteurs. Ces démarches font l'objet d'autocontrôles, de contrôles internes et de contrôles indépendants par des organismes tiers accrédités.

RÉDUCTION DE L'UTILISATION DES PESTICIDES

En matière de lutte contre les ravageurs,

le verger français avait déjà assimilé les principes de la protection intégrée des fruits dès la fin des années 1970, pour sortir des impasses d'une protection basée exclusivement sur la chimie.

Cette évolution, cohérente avec les objectifs de production de fruits de qualité, s'est étendue au concept de production fruitière intégrée (PFI, années 1990), pour aboutir aujourd'hui à des vergers éco-responsables, conformes aux attentes des distributeurs et des marchés.

Les pomiculteurs français sont aujourd'hui soumis à un contexte réglementaire très exigeant en matière de santé végétale, les autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques étant souvent plus restrictives que celles des autres pays européens, malgré une même homologation des substances actives (règlement (CE) n° 1107/2009). Les conditions d'application des produits phytopharmaceutiques sont également très réglementées depuis 2006 (conditions météorologiques, zones non traitées, gestion des résidus, etc.) Suite à la consultation nationale sur la politique de l'environnement (« Grenelle de l'Environnement », 2007), la France a mis en place des mesures de réduction de l'utilisation des pesticides, à travers les plans Ecophyto I et II (respectivement 2008 et 2014), qui sont la déclinaison nationale de la directive européenne CE 2009/128.

Ces plans ont également permis l'émergence des réseaux DEPHY, avec un dispositif « Ferme » basé sur des exploitations volontaires pour les transitions agroécologiques, appuyées par des ingénieurs réseaux, et un dispositif «Expé» consistant en l'exploration de systèmes de R&D innovants. Ces actions ont également stimulé la mise à disposition de systèmes d'aide à la décision et d'outils dédiés, permettant le déclenchement d'interventions chimiques, le développement de méthodes de biocontrôle, et plus largement de méthodes alternatives de régulation des bio-agresseurs. Le Groupement d'Intérêt Scientifique Fruits (GIS Fruits) a publié une première synthèse de ces méthodes à destination des producteurs et techniciens fruitiers (Laget et al., 2015).

La réglementation française stricte et les plans de contrôle qui accréditent son application sont des facilitateurs pour atteindre le label zéro résidu de pesticides, mais la profession déplore que des impasses techniques apparaissent lorsque l'arsenal des méthodes alternatives pour lutter contre les ravageurs du verger est insuffisant et/ou lorsque les produits autorisés sont trop peu nombreux ou retirés (par exemple, lutte contre le puceron cendré du pommier, les mouches des fruits, ou de nouveaux ravageurs tels que la punaise diabolique). La production de pommes, qui vise un contrôle plus naturel des ravageurs du verger, évolue vers des systèmes de vergers plus résilients. Ces systèmes font place à des variétés qui présentent une résistance ou une tolérance aux bio-agresseurs, et exploitent la biodiversité spatiale inter- et intra-spécifique (verger maraîcher, ou verger multi-spécifique).

L'AGRICULTURE DE PRÉCISION POUR ÉCONOMISER LES RESSOURCES ET PRÉSERVER L'ENVIRONNEMENT

Pour les pratiques arboricoles, l'heure est à l'émergence de pratiques mieux raisonnées et dimensionnées (ex : adaptation du volume de pulvérisation à la surface foliaire déployée), modulables dans le cadre de la parcelle, économes en intrants et en énergie, faisant ainsi entrer la production de pommes dans l'agriculture de précision. L'un des grands groupes français de production de pommes (Blue Whale) a lancé un projet basé sur les progrès de l'imagerie de précision dans le verger pour aider à la prise de décision. Basée sur quatre périodes clés pour l'élaboration du rendement *(Figure 13)*, l'expérience en cours consiste à utiliser des informations cartographiées au niveau de la parcelle pour aider et/ou ajuster les décisions de l'agriculteur concernant l'éclaircissage des fleurs ou jeunes fruits (fin mars et juin) ainsi que la prévision et la préparation de la récolte (de la fin de l'été à l'automne).

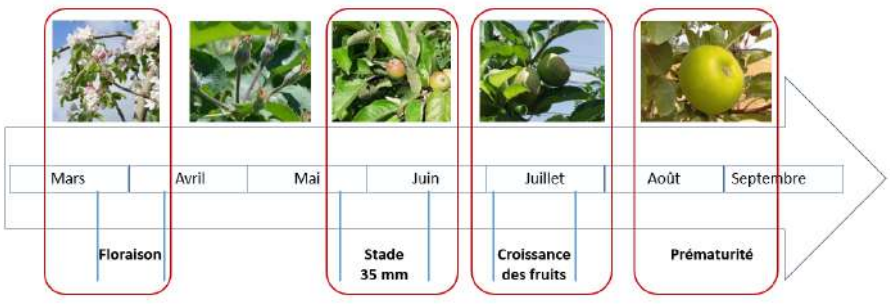


Figure 13
Cycle annuel du verger de pommiers montrant quatre périodes clés pour l'acquisition d'images géolocalisées (réflectance dans le spectre visible ou acquisition par laser-scanner) dont l'interprétation rapide est à la base de l'aide à la décision pour une intervention culturale et sa modulation en fonction des cartes obtenues. ©Blue Whale

Au-delà du « bord verger », les professionnels français de la pomme ont souhaité évaluer leur contribution à la maîtrise du changement climatique, dans le but de minimiser les impacts négatifs de la production. Ainsi, dans le cadre d'un programme cadre (Green Go) soutenu par l'ADEME, différents acteurs majeurs de la filière pomme se sont engagés dans un programme de deux ans (Peren, 2021-22) qui vise à améliorer la performance environnementale de la filière. Ce programme, copiloté par l'ANPP, qui concerne la pomme de table et la compote de pommes, couvre la production du verger, en amont, et les étapes post-récolte du fruit, de la station fruitière au consommateur, en aval. Une étude antérieure a montré que les étapes post-récolte (y compris le déplacement des consommateurs vers les magasins) peuvent représenter plus de 70% des émissions de gaz à effet de serre. La performance environnementale des pommes est actuellement prise en compte au stade de la production, la charte Vergers Ecoresponsables visant une production décarbonée d'ici à 2024. Le projet Peren permet d'approfondir les résultats d'un précédent projet sur les impacts des produits agricoles et alimentaires (Agribalyse), qui a conduit au développement d'outils d'analyse du cycle de vie (Means-InOut). Le projet Peren fournit un inventaire des principaux types de vergers et de filières post-récolte, et propose d'identifier les domaines prioritaires sur lesquels travailler, dans une approche multicritère, pour améliorer la performance environnementale de la pomme.

Différents leviers d'action doivent être évalués au stade du verger en termes d'écoconception et d'empreinte carbone (par exemple, l'impact des variétés résistantes aux maladies, la gestion de la fertilisation, la réduction du nombre de passages de tracteurs et autres machines, et la gestion de la biomasse du verger en fin de cycle, etc.), mais aussi à la station de conditionnement et dans la chaîne d'approvisionnement. La faisabilité technique et économique des actions sera évaluée dans le cadre d'ateliers multipartites.

5 . Un secteur fruitier dynamique qui se confronte à des questions pour mieux relever le défi de la durabilité

La durabilité de la filière pomme repose sur des piliers économiques, sociaux et environnementaux indissociables. Au niveau économique, la forte organisation de la profession permet de partager les grands enjeux auxquels elle est confrontée pour préparer les campagnes et mettre en œuvre des stratégies de performance. La dynamique d'animation collective et le travail en groupes de projet visent à répondre aux défis économiques et aux enjeux techniques du secteur. Parmi les préoccupations du moment, l'attention des professionnels se porte sur les évolutions de la distribution, la nécessaire maîtrise des coûts de production malgré l'augmentation des prix de l'énergie (interventions mécaniques, stockage, transport), la réglementation française très stricte sur les emballages et l'utilisation des stickers, et le comportement d'un consommateur marqué par une recherche d'éthique et d'écologie, tout en restant sensible au prix. Les producteurs engagés dans les Vergers Ecoresponsables démontrent leur volonté de communiquer avec les consommateurs, en expliquant leurs objectifs et leurs méthodes de production lors d'opérations « Vergers Ouverts » permettant des échanges en toute transparence avec le public *(Figure 14)*. Même si ce mode de communication semble répondre à la recherche d'un produit sain et local, l'ambition de la production de pommes en France reste l'accès au marché national et à l'exportation. Les choix techniques de production sont faits en fonction du positionnement commercial.

Figure 14
Rencontre entre un producteur de pommes adhérant à la charte « Vergers Ecoresponsables » et le public, lors des récentes journées « Vergers Ouverts ». ©ANPP

La tendance dominante est celle d'un verger intensif et à haut rendement, protégé physiquement contre les aléas, conçu pour répondre aux défis de la concurrence internationale et occasionnant de faibles coûts de production. Son optimisation repose sur la cohérence entre les paramètres de la conception initiale et une gestion de plus en plus mécanisée, cherchant à compenser la rareté de la main-d'œuvre et offrant une solution économiquement viable à l'augmentation des coûts horaires de la main-d'œuvre. À l'inverse, des modèles de vergers plus extensifs apparaissent, témoignant d'une recherche de résilience. Basés sur de nouveaux paradigmes, certains d'entre eux sont testés en tant que prototypes (par exemple, le verger agroforestier, ou le verger maraîcher, etc.), laissant une large place à la diversité interspécifique, assurant une régulation naturelle des ravageurs, minimisant ainsi le besoin de protection phytosanitaire. Dans ces vergers, la rentabilité économique passe par une utilisation parcimonieuse des ressources (engrais, eau, énergie) et une meilleure valorisation des fruits relevant d'un mode de production explicitement agro-écologique, ciblé sur une niche qualitative, en circuit court. Parallèlement, des systèmes agri-voltaïques pour des vergers de pommiers neutres en carbone sont également testés. Équipés de panneaux pivotants, ces systèmes visent à offrir un abri atténuant les effets des vagues de chaleur estivales, augmentant la résilience climatique, tout en assurant une production durable de pommes et une génération d'énergie solaire.

Il est à noter que la distribution est susceptible de référencer des pommes issues de l'un ou l'autre modèle de production, permettant une offre fortement segmentée pour ce fruit. Les choix des arboriculteurs doivent, en tout état de cause, être en adéquation avec les méthodes de production et les objectifs commerciaux. En effet, les différents choix lors de la création du verger sont des critères à multiples facettes, et posent la question du choix variétal pour l'avenir. Pour le type de fruit, outre les pommes bicolores, l'émergence de nouvelles variétés de haute qualité à peau jaune (par exemple, «Rubis Gold®», «Opal®», etc.) devrait diversifier une offre principalement occupée par «Golden» sur ce segment. Des niches de marché sont également possibles pour des innovations de rupture : pommes à chair rouge ou pommes de taille snack adaptées à la consommation nomade (par exemple, «Rockit®»). La tolérance aux stress biotiques est une tendance forte (par exemple la résistance durable à la tavelure entreprise par l'INRAE), intéressante pour la production conventionnelle et biologique, ceci précédant la recherche de variétés moins sensibles aux aléas climatiques, présentant une bonne plasticité phénotypique, dans un contexte climatique marqué par l'incertitude. Au niveau génétique, les caractères d'architecture de l'arbre, d'efficacité d'interception de la lumière et de réponse aux stress abiotiques sont largement indépendants. Ces caractères sont susceptibles d'être recombinés par la sélection (Coupel-Ledru et al., 2022). Parmi les questions variétales actuelles, l'évaluation de l'utilisation efficace des ressources est impérative. Sera-t-il possible à l'avenir de sélectionner les variétés de pommes en fonction de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et/ou de l'azote ? Une attention accrue est déjà accordée aux «services» fournis par les vergers, non seulement en termes de production agricole et d'emploi, mais aussi en termes de services écosystémiques et de paysage (Bopp et al., 2019).

Enfin, il convient de souligner que la résolution des nombreuses questions techniques posées par la production de pommes nécessitera plus que jamais le soutien d'efforts de recherche et développement pluridisciplinaires, qui peuvent s'inscrire dans le cadre de partenariats public/privé, tels que ceux mis en place en France. Ainsi, le GIS Fruits, créé en 2012 et piloté par l'INRAE, regroupe 22 institutions partenaires de la filière, incluant la recherche appliquée (ex : CTIFL), l'enseignement supérieur et les organisations professionnelles. Le GIS Fruits travaille sur les thèmes prioritaires de la filière fruits, permettant l'émergence de nouvelles questions de recherche. Il stimule la collaboration et l'émergence de projets entre partenaires français, accompagne les innovations et la transition agroécologique. Il aide à la diffusion des résultats des études et contribue à éclairer les décisions publiques.

À l'instar de cette collaboration nationale entre partenaires, des rencontres scientifiques internationales, telles que IHC2022 (www.ihc2022.org), avec ses différents symposiums thématiques, peuvent faciliter l'émergence de projets et de collaborations internationales et interdisciplinaires contribuant à la durabilité de la production fruitière, et en particulier celle de la pomme.

RÉFÉRENCES

Bopp, M.C., et al. (2019). Rapport sur les services rendus par les cultures fruitières (GIS fruits), pp.40. www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Rapport-Services-rendus-par-les-cultures-fruitieres

Cavard-Vibert, P. (2020). Baromètre de la consommation des pommes en 2019. Image, usages. Rapport d'étude CTIFL, pp.95. www.ctifl.fr/Pages/Kiosque/DetailsOuvrage.aspx?idTheme=1&idouvrage=3960

Collective. (2021). Variétés de pommes: 30 ans d'évolution et d'évaluation. Bilans et perspectives. www.ctifl.fr/Pages/Agenda/DetailsEvenement.aspx?id=594

Coupel-Ledru, A., Pallas, B., Delalande, M., Segura, S., Guitton, B., Muranty, H., Durel, C.-E., Regnard, J.-L., and Costes, E. (2022). Tree architecture, light interception and water use related traits are controlled by different genomic regions in an apple tree core collection. New Phytol. 234(1): 209-226.

FranceAgriMer. (2020). Les chiffres clés de la filière fruits et légumes frais et transformés en 2019. www.franceagrimer.fr/Eclairer/Etudes-et-Analyses/Chiffres-et-bilans (publié en décembre 2020).

FranceAgriMer. (2021a). Achat de fruits et légumes frais par les ménages français pour leur consommation à domicile, données 2020. www.franceagrimer.fr/Eclairer/Etudes-et-Analyses/Chiffres-et-bilans (publié en mars 2023).

FranceAgriMer. (2021b). Analyse de la compétitivité sur le marché international de la pomme en 2020 (données 2019). www.franceagrimer.fr/Eclairer/Etudes-et-Analyses/Etudes-et-syntheses (publié en juillet 2021).

Laget, E., et al. (2015). Guide pour la Conception de Systèmes de Production Fruitière Économes en Produits Phytopharmaceutiques (Paris: GIS Fruits et Ministère de l'Agriculture), pp.264. www.gis-fruits.org/Actions-du-GIS/Guide-Ecophyto

Laurens, F., Aranzana, M.J., Arus, P., Bassi, D., Bink, M., Bonany, J., Caprera, A., Corelli-Grappadelli, L., Costes, E., Durel, C.-E., et al. (2018). An integrated approach for increasing breeding efficiency in apple and peach in Europe. Horticulture Research 5, 11. https://doi.org/10.1038/s41438-018-0016-3

Lauri, P.-E., and Simon, S. (2019). Advances and challenges in sustainable apple cultivation. In Achieving Sustainable Cultivation of Temperate Zone Tree Fruits and Berries. Volume 2: Case Studies, G.A. Lang, ed. (Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing).

Lauri, P.-É., Willaume, M., Larrive, G., and Lespinasse, J.-M. (2004). The concept of centrifugal training in apple aimed at optimizing the relationship between growth and fruiting. Acta Hortic. 636, 35–42. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.3

Masseron, A. (2002). Pommier, Le Mur Fruitier (CTIFL), pp.112. ISBN: 2-87911-183-8.

Roche, L. (2020). Pommiers, premiers résultats, le verger de demain. Paper presented at: Conférence 2 janvier 2020 (St Rémy-de-Provence: CTIFL). www.agrireseau.net/documents/101670/pommier-premier-resultats-le-verger-de-demain

Le secteur des semences légumières en France

Richard Brand, Marie-Christine Daunay, Dominique Daviot, Rémi Kahane et Emmanuelle Laurent.

INTRODUCTION

La production de légumes en France *(Encadré 1)* s'est développée depuis le XIX^{e} siècle à partir des « ceintures maraîchères » traditionnelles situées le long des plaines fluviales fertiles à proximité des centres urbains, telles que les vallées de la Seine et de la Loire, du Rhône et du Var. *(Figure 1)*.

La production s'est intensifiée à partir du début du 20^{e} siècle dans des zones au sol et au climat favorables, en particulier en Flandre (St Omer, pour le chou-fleur et les légumes d'hiver), dans la haute vallée de la Seine (asperges et légumes «verts»), dans le centre de la France (Orléans et Sologne) et dans le sud de l'Europe, le centre de la France (Orléans et Sologne pour l'asperge, le concombre, la fraise), la Bretagne (bassin de Saint-Malo pour le chou-fleur, la pomme de terre), l'ouest de la France (bassin nantais pour la carotte, la mâche, le poireau, le muguet), et le sud-est de la France (Provence et région d'Hyères) pour les légumes méditerranéens.

À partir de 1950, plusieurs régions se spécialisent : Normandie (carotte, navet, poireau et légumes d'hiver), Bretagne autour de Roscoff et Plougastel (oignon et échalote, chou-fleur, tomate, pomme de terre, fraise), plaine de Limagne (ail, échalote), Sud-Ouest (tomate de Marmande, haricot et fraise de Villeneuve-sur-Lot, melon), Camargue (melon, tomate), et autour de Perpignan (tomate, laitue, chicorée). Plus récemment, des cultures de plein champ très mécanisées se sont développées : melon dans les Charentes et l'Hérault, carotte dans les sols sablonneux des Landes, oignon dans la plaine de Beauce. La production sous serre (verre ou plastique), qui assure la précocité de la production, a progressé à partir de 1960 car elle sécurise aussi la qualité visuelle du produit. L'utilisation de matériaux de protection en plastique et en fibre de cellulose a contribué à l'intensification. La notion originelle de "primeurs" a été modifiée car la production internationalisée et transportée par camions approvisionne désormais l'Europe tout au long de l'année.

La production de légumes destinés à la transformation alimentaire progresse avec des variétés adaptées à des itinéraires techniques très mécanisés (haricot, pois, épinard, céleri, oignon, cornichon, tomate, maïs doux, brocoli, épinard), produites dans le nord et le sud-ouest de la France, en Bretagne, dans les vallées de la Saône et du Rhône.

La qualité des semences (vigueur germinative, enrobage, calibrage et « priming ») et l'adaptation des variétés (vigueur des hybrides notamment) ont permis la généralisation du semis de précision au champ. Pour les cultures sous abri et les cultures de plein champ avec repiquage, la qualité des semences et les exigences sanitaires ont contribué à la généralisation de l'utilisation des plants et au développement d'une filière industrielle de production de plants (1 500 pépinières, GNIS[1], 2016).

(1) Le GNIS est devenu SEMAE le 27 janvier 2021 (https://www.semae.fr/communique/le-gnis-evolue-et-devient-semae-interprofession-de-toutes-les-semences-et-pour-tous-les-usages/#)

ENCADRÉ 1

Données économiques sur la production légumière en France

La production française de légumes (7 500 ha sous abri, 210 000 ha en plein champ) s'élève à 6 millions de tonnes (Mt), dont 30 % sont transformés industriellement (Oberti et al., 2020). L'énorme marché des semences adaptées aux producteurs est approvisionné par des entreprises semencières françaises, des semenciers étrangers (notamment néerlandais, américains, japonais, italiens), ainsi que par des firmes multinationales.

Plus d'un milliard de tonnes de légumes sont produites chaque année dans le monde, dont 72 % en Asie (la Chine à elle seule produit 400 Mt). La France est le troisième producteur de légumes de l'Union européenne (UE) et exporte 1 Mt (Lor, 2015). Les importations de tomates (500 000 t), carottes, courges, melons, oignons et salades proviennent principalement d'Espagne, d'Italie et du Maroc, pour un total de 1,9 Mt. La consommation annuelle (principalement carottes, tomates, laitues, melons, haricots et Brassica) est d'environ 126 kg par habitant, dont plus de 50 % sont fournis par les supermarchés. Cette consommation est inférieure à celle de la Turquie (premier consommateur en Europe), de l'Italie et de l'Espagne (les deux premiers consommateurs de l'UE).

La part de la production des jardins familiaux a fortement diminué à partir de 1980, mais elle est remontée ces dernières années : 16,5 millions de jardiniers produisent des légumes en France. Cela représente un marché important de semences pour amateurs.

Jusqu'à la fin du 19e siècle, les producteurs de légumes cultivaient traditionnellement les variétés locales et les amélioraient par sélection massale empirique. Par la suite, les sélections et les nouvelles variétés ont été de plus en plus diffusées par les entreprises semencières privées. Dès 1950, les sélectionneurs et les producteurs de semences ont investi conjointement dans l'amélioration génétique et la technologie des semences afin de mettre à disposition des variétés performantes associées à des semences de haute qualité produites dans des régions spécialisées. Soutenu par la recherche publique, les instituts techniques, les services de vulgarisation, les réseaux d'agrotechniciens et un enseignement agricole de qualité, le secteur des semences légumières a atteint un niveau élevé d'organisation et de performance technique qui sert de modèle dans le monde depuis 1980.

Depuis 2000, l'État français se préoccupe de mettre en place des pratiques de production respectueuses de l'environnement et de produire des aliments sains. Le secteur des semences légumières participe au développement de l'agriculture agro-écologique et biologique en France, en Europe et ailleurs.

La force du secteur français des semences légumières repose sur plusieurs atouts, parmi lesquels les réglementations publiques, la recherche et les partenariats publics et privés ainsi que la diversité des sols et des climats. Cet article rappelle les principales caractéristiques, depuis 1950, de la sélection des espèces légumières, de l'organisation de la filière semences légumières en France en termes de marché, de recherche et d'enseignement, de la production de semences et de la contribution de la filière à la transition agro-écologique.

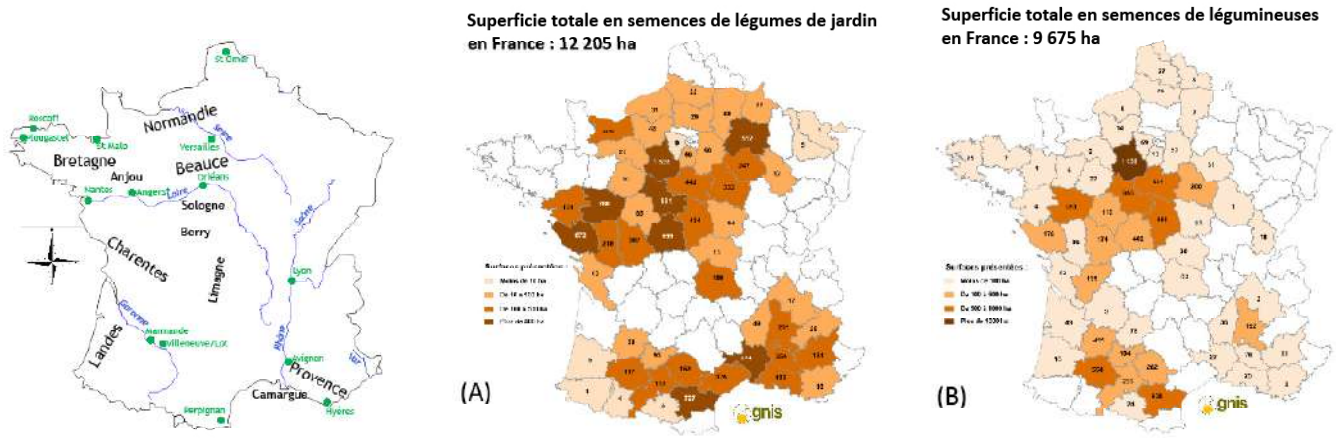


Figure 1 : Distribution géographique de la production de légumes et de semences légumières en France : a) zones historiques de production de légumes avec les rivières (en bleu) et les villes (en vert) citées dans le texte. "Angers*"est le lieu du congrès IHC 2022 ; b) Production totale de semences des espèces légumières à petites graines, 9 675 ha en 2019 ; c) Production totale de semences de légumineuses à grosses graines, 12 205 ha en 2019 (Source GNIS).

Figure 2 : Uniformité des hybrides de radis (A) (photo ©INRAE) ; fenouil (B) et navet (C) (photo ©HMClause)

Histoire de la sélection végétale et des établissements sélectionneurs et producteurs de semences de légumes

LA FRANCE EST CONNUE DANS LE MONDE ENTIER POUR SES SEMENCIERS

La famille de Vilmorin s'est lancée dans la sélection des semences à la fin du 18e siècle. Elle crée en France, de façon significative, une activité dynamique de production et de sélection de semences, qui prend son essor à la fin du 19e siècle. À partir des années 1960, les sociétés Clause, Tézier, Caillard, Société de Production Grainière (SPG), puis Gautier Semences, et bien d'autres se sont développées en un vaste réseau de 400 entreprises de semences légumières (sélectionneurs, producteurs et courtiers en semences) rayonnant à partir de la vallée de la Loire (Boret, Brivain, Camus, France Graines, Giladeau, Godineau, Griffaton, Guillard, Moreau, Toumelin), du bassin parisien et du nord (Blondeau, Cayeux, Mollard-Sanrival, Peltier, Séminor, Simon Louis), de l'est (Denaiffe, Fabre, Lafitte, Voltz), de la vallée du Rhône (Bourget Sanvoisin, Blain, Ducrettet, Genest, Girerd, Gondian, Gondian, Mirabel, Ribot & Faure, Rivoire-Lavergne) et du sud-ouest (Catros Gérand). En 2020, la France compte encore 80 entreprises de production et de commercialisation de semences légumières.

LA SÉLECTION CONSERVATRICE DES VARIÉTÉS PATRIMONIALES

Au cours du 20e siècle, ces établissements, en contact avec les maraîchers, ont collecté, maintenu, amélioré et produit plusieurs centaines de variétés et de populations locales anciennement créées par les maraîchers. Ce sont les variétés et populations anciennes du domaine public, patrimoine spécifique des maraîchers français, maintenues par sélection conservatrice, encore disponibles pour la filière *(Encadré 2)*.

ENCADRÉ 2

Variétés et populations anciennes dans le domaine public

Grâce à la qualité de la sélection conservatrice française, les maraîchers ont accès à des semences saines et de bonne germination de populations anciennes et des sélections (anciennement appelées « races ») créées au 19è et dans la première partie du 19e siècle. Jusqu'en 1970, cette sélection conservatrice était axée sur l'homogénéité et l'adaptation des variétés aux exigences du marché. Les variétés de carottes à pollinisation libre (Nantaise, Colmar), les variétés populations de choux-fleurs en Bretagne, de poireaux (d'Eté, d'Automne, de Gennevilliers, de Carentan, d'Hiver, Bleu de Solaise…), d'oignons (de Mulhouse -Auxonne et Sélestat-, de Roscoff, de Trébons, Paille des Vertus, Jaune pâle de Niort, de Lézignan, les Blancs de Paris, de Vaugirard…), qui constituent toujours une alternative aux variétés hybrides, en sont des exemples. Dès 1980, les semenciers se sont regroupés au sein du Syndicat des mainteneurs de variétés végétales (SMVP), afin de poursuivre et d'harmoniser le travail de maintenance. Aujourd'hui, d'autres structures assurent ce travail (par exemple, l'Association des croqueurs de carottes). Les variétés sont inscrites au Catalogue officiel français et la liste des mainteneurs officiels est disponible au GEVES (Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences ; www.geves.fr).

UNE SÉLECTION CRÉATIVE

Jusqu'en 1960,

Vilmorin et Clause sont les piliers de la sélection végétale grâce à leurs laboratoires de recherches dédiés à la création variétale et aux techniques de production.

Les sélectionneurs de Vilmorin créent des variétés améliorées, dont la première variété de tomate hybride F1 en France, « Fournaise » (1956). À partir de 1955, l'Institut national de la recherche agronomique (INRAE)[1], en partenariat avec des semenciers privés, s'engage également dans la recherche et la création variétale. Dès 1970, ces acteurs ont créé des variétés modernes, hybrides ou non, qui répondaient aux critères techniques exigés par les producteurs et les négociants. Le secteur de la distribution des légumes exige des produits homogènes, faciles à emballer et à transporter, et adaptés à la production de masse, qu'elle soit mécanisée ou automatisée. Les sélectionneurs ont pris en compte ces objectifs et y ont ajouté une composante agronomique essentielle : la résistance aux bio-agresseurs. En effet, l'intensification de la production légumière favorise l'incidence de nombreuses maladies et attaques parasitaires qui génèrent de lourds dégâts au champ et après la récolte. Afin de réduire la charge phytosanitaire, les sélectionneurs ont introduit des gènes de résistance dans les nouvelles variétés par croisement.

L'INRAE et l'IRAT (qui deviendra plus tard le CIRAD, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ont également travaillé sur les légumes adaptés aux zones tropicales, soit dans des stations de recherche situées dans les Antilles françaises (adaptation de la tomate aux climats humides et chauds, résistance de la tomate aux bégomovirus, résistance de la tomate et de l'aubergine au flétrissement bactérien), en Nouvelle-Calédonie et à La Réunion (amélioration des légumes « lontan », résistance des solanacées aux bio-agresseurs), soit en partenariat avec des institutions publiques en Afrique (travaux sur l'oignon « de Galmi » dans les années 1960 dans la vallée du Niger).

Figure 3
Poivron : types rectangulaires et en corne, de diverses couleurs (photo ©R.Brand)

UNE VÉRITABLE FORCE INDUSTRIELLE INTERNATIONALE

Vilmorin intègre en 1975 le groupe coopératif semencier Limagrain, rejoint ensuite par d'autres semenciers tels que Harris Moran, Clause et Tézier, l'ensemble formant le groupe Vilmorin & Cie. Avec l'acquisition de Ferry Morse, Nickerson, Kyowa, Hazera, Henderson et Mikado, le groupe devient en 2019 le leader mondial des semences légumières. D'autres semenciers français, comme Gautier Semences, ASL (melon uniquement), Hoquet (chicorée witloof), Darbonne et Marionnet (fraise et asperge), deviennent des leaders européens. Des formes d'organisations économiques nouvelles développent également une activité de sélection végétale comme les coopératives agricoles (Top Semences, Unisem, Sicail et GIE Ail drômois pour l'ail et l'échalote), les groupements de producteurs (Organisation Bretonne de Sélection,OBS, pour l'échalote et les Brassicacées), et les entreprises familiales (Technisem pour les marchés tropicaux, Gautier Semences, ou Agrosemences pour les semences d'Agriculture Biologique). En 2020, une trentaine d'entreprises françaises sélectionnent et/ou commercialisent de nouvelles variétés de légumes. Cette forte concentration de semenciers s'explique par l'internationalisation des marchés et le coût élevé de la recherche.

De nombreuses entreprises étrangères installent leurs stations de recherche en France pour sélectionner, produire et commercialiser des semences en France ou sur les marchés mondiaux : Syngenta, Bayer (Monsanto et Nunhems), Rijk Zwaan, Enza Zaden, Bejo, Sakata, Takii, sont présents dans les basses vallées du Rhône et de la Loire et dans le sud-ouest. Leurs centres de recherche en sélection végétale situés autour d'Avignon et d'Angers font partie des centres européens de semences, avec Den Haag-Enkhuisen aux Pays-Bas, Latina en Italie, Valencia et Almeria en Espagne.

(1) L'INRA est devenu l'INRAE le 1er janvier 2020 (https://www.inrae.fr/nous-connaitre)

Au cours des cinquante dernières années, la production de semences en France s'est concentrée sur quelques zones géographiques telles que les vallées de la Loire, du Rhône et de la Garonne et la plaine de la Beauce. Les cultures de semences sous tunnel se développent en France (choux-fleurs, laitues, carottes, hybrides de solanacées et de cucurbitacées) afin de garantir un haut niveau de qualité sanitaire ainsi que la sécurité des lignées parentales. La production de semences s'est également déplacée vers l'étranger (Australie, Amériques, Afrique du Nord et de l'Est, Inde, Chine) pour des raisons de rentabilité.

Après une période caractérisée par des marchés de semences «captif» comme l'Afrique du Nord pour des raisons historiques, les marchés de semences se sont internationalisés à partir de 1980 et ont mobilisé les équipes françaises de sélection. Cette évolution a commencé par le développement de bassins de production légumière aux Canaries, au Maroc, en Italie et en Espagne. Le marché des semences s'est progressivement étendu à d'autres zones de production à grande échelle telles que l'Europe de l'Est, la Turquie, le Moyen-Orient, puis les États-Unis, l'Amérique du Sud, l'Inde, l'Asie du Sud-Est et la Chine. Ce changement global a contribué à un brassage génétique entre les types cultivés de la plupart des espèces de plantes cultivées. Il accompagne la diversification des légumes et contribue à un renouvellement rapide des thèmes de recherche.

Cet élargissement du marché se traduit par une augmentation des bénéfices de l'industrie semencière française, qui est en concurrence avec les États-Unis, les Pays-Bas et le Japon : en 2019, la France est le premier producteur européen de semences et le deuxième exportateur européen de semences (voir la section sur la production de semences légumières en France).

Le dynamisme de la recherche et de la sélection publique-privée

En 2020,

plus de 20 000 variétés d'une quarantaine d'espèces légumières sont inscrites au catalogue européen et satisfont le marché de l'UE, dont plus de 2 500 variétés sont inscrites en France (200 nouvelles variétés an-1).

Depuis les années 1950, la sélection française se caractérise par un partenariat fort entre la recherche publique et privée, qui a permis des progrès considérables en termes de régularité des rendements, d'homogénéité visuelle et d'aspect, d'adaptation au conditionnement, d'adaptation physiologique à une diversité de systèmes de culture et de conditions environnementales, et de résistance aux bio-agresseurs. En 2016, le secteur semencier français a investi 116 M€ dans la recherche, soit 25 % de son chiffre d'affaires (GNIS, 2016).

Très tôt, la recherche publique a accompagné le développement du secteur des semences légumières, avec la création, en 1965, de l'Association des créateurs de variétés potagères et florales (ACVPF), présidée par l'INRAE. Cette association assure la formation des sélectionneurs et impulse jusqu'en 1978 une dynamique de coopération entre ses membres pour l'évaluation et l'utilisation du matériel génétique créé par l'INRAE. Ensuite, la recherche publique a été de plus en plus financée par des contrats à court terme et des programmes cloisonnés, accessibles par des appels d'offres concurrentiels. Des chercheurs publics de haut niveau se sont succédés à la tête des programmes de génétique et d'amélioration des plantes de l'INRAE de Versailles, Avignon, de Rennes-Landerneau et des Antilles. Les semenciers se sont regroupés au sein de la Fédération nationale des graines et semences potagères (FNGSP), devenue l'Union Française des Semences (UFS), avec un pôle amélioration des plantes, et au niveau européen dans l'Association européenne des semences (AES). L'Association française des sélectionneurs (ASF depuis 1962) et l'Association européenne pour la recherche en amélioration des plantes (Eucarpia depuis 1956) assurent la formation continue et les réunions de réseau des sélectionneurs (respectivement www.selectionneurs.asso.fr et www.eucarpia.org).

LA PRÉSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES

Face à l'importance croissante de la sélection variétale et à l'érosion génétique de la diversité des espèces cultivées, les pouvoirs publics français ont mis en place en 1995 un dispositif national de gestion mutualisée des ressources génétiques végétales, sous forme de réseaux pour les espèces d'intérêt économique. Les partenaires sont des organismes institutionnels (INRAE, GEVES, écoles d'ingénieurs, CIRAD pour les espèces tropicales et subtropicales), des semenciers, des banques de semences et d'autres organismes nationaux, régionaux ou locaux agissant dans le domaine de la conservation des ressources génétiques. La coordination est assurée comme suit :

- Solanacées fruitières et melon : INRAE Avignon,
- Artichaut et cardons, chicorée, oignon, laitue : GEVES Angers et Cavaillon,
- Brassicacées et carottes : Agrocampus Ouest Rennes et Angers,
- Légumineuses à grains : INRAE Dijon,
- Fraise : CIREF Bergerac.

Ces réseaux fonctionnent sous l'égide de la structure nationale de coordination des ressources phytogénétiques (www.geves.fr/plant-genetic-resources/national-coordination/national-coordination-structure/). Ils conservent, décrivent et évaluent plus de 15 000 variétés anciennes ou étrangères, des génotypes d'intérêt particulier, ainsi que des formes et des parents sauvages. Leurs objectifs sont d'assurer et de maintenir l'intégrité génétique des collections à long terme, de mutualiser les efforts de régénération, de conservation, de description et d'évaluation, et d'espacer les cycles de régénération. Parmi les autres priorités figurent la visibilité des collections et leur valorisation, par le biais d'une utilisation accrue dans les programmes de recherche et de sélection. Sources de gènes pour les sélectionneurs, ces collections constituent un matériel exceptionnel pour déchiffrer la structure moléculaire de la diversité génétique, comme cela a été fait en particulier pour la tomate, le poivron et la carotte. Le maintien de la diversité des structures hybrides (F1, de clones ou synthétiques) constitue encore un défi.

La collaboration européenne en matière de ressources génétiques est facilitée par la contribution à long terme du Programme coopératif européen pour les ressources phytogénétiques (www.ecpgr.cgiar.org/), ainsi que par des projets de l'Union Européenne (UE) à durée limitée consacrés à la gestion et à la conservation des ressources génétiques (Daunay et al., 2011).

DES RECHERCHES À LA POINTE DE LA BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE

Depuis 1950, les méthodes et les outils ont connu des développements importants, d'abord en biologie cellulaire et en culture *in vitro* : micropropagation, embryogenèse somatique, haplo-diploïdisation par androgenèse ou gynogenèse, sauvetage d'embryons issus de croisements interspécifiques, fusion de protoplastes (Daunay et al., 2007). Quelques travaux majeurs réalisés en France méritent d'être mentionnés :

- Maîtrise de la propagation de l'ail et de l'échalote par culture de méristèmes (INRAE Avignon et Ploudaniel), propagation in vitro de l'asperge (INRAE Versailles) et de l'artichaut (INRAE Avignon), qui a notamment conduit à la multiplication végétative de matériel commercial tel que des semences certifiées d'ail et d'échalote exemptes du virus de la jaunisse de l'oignon (OYDV), et des structures hybrides de poireau et d'asperge.
- Contrôle de l'embryogenèse somatique chez la carotte (entreprises semencières),
- Haplodiploïdisation chez les Solanacées et les cucurbitacées (INRAE Avignon), chez les Brassica (INRAE Versailles) et les ombellifères (semenciers),
- Sauvetage d'embryons issus de croisements interspécifiques chez les Solanacées et les Cucurbitacées (INRAE Avignon),
- Fusion de protoplastes chez Brassica (Université d'Orsay, INRAE Versailles et semenciers) et chicorée witloof (Université de Lille et semenciers).

La recherche française a été à la pointe du développement de ces techniques pour l'amélioration de nombreuses espèces végétales. L'un des apports majeurs des biotechnologies est probablement la sortie de l'impasse de l'hybridation inter-générique et interspécifique *(Encadré 3)*.

ENCADRÉ 3

Hybridation de genres et d'espèces

Chez *Cichorium intybus* (chicorée witloof et chicorée à feuilles amères) et C. *endivia* (chicorée scaroles et frisées), des croisements entre espèces ont été réalisés sur quelques génotypes pour créer des scaroles et frisées avec des racines tubéreuses adaptées à la production en chambre de culture.

Chez la courgette, *Cucurbita pepo*, des résistances partielles au virus de la mosaïque jaune de la courgette (ZYMV, genre *Potyvirus*), au virus de la mosaïque de la pastèque (WMV, genre *Potyvirus*), au virus de la mosaïque du concombre (CMV, genre *Cucumovirus*) et à l'oïdium ont été introduites à partir de *Cucurbita moschata*, C. *okeechobeensis* ou C. *ecuadorensis*.

Chez la laitue, *Lactuca sativa*, des espèces sauvages ont été utilisées pour l'introduction :

- du gène Nr de résistance au puceron noir (*Nasonovia ribis nigri*) de L. *virosa* en utilisant L. *serriola* comme espèce pont,
- des gènes de résistance au *Bremia* de L. *saligna* et L. *virosa*.

Chez la tomate et le poivron, les espèces sauvages sont couramment utilisées pour introduire des caractères de résistance aux maladies.

Chez les Brassica spp. pour lesquelles les ressources en espèces intercompatibles sont importantes, des croisements innovants sont réalisés (par exemple, brocoli à jets multiples, choux). Les croisements interspécifiques ont permis également d'introduire une tolérance à la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*).

L'essor des techniques moléculaires dans les années 1990 et leur évolution continue ont révolutionné la génétique, bien que l'ampleur de leur utilisation dans les schémas de sélection varie d'une espèce à l'autre et concerne surtout les espèces dont les cultures sont à rentabilité élevée. La cartographie, le marquage des gènes et des QTL associés à des caractères d'intérêt agronomique ont permis le développement, depuis les années 2000, de la sélection assistée par marqueurs (SAM) pour la résistance aux maladies, la stérilité mâle et la compatibilité pollinique. La caractérisation fonctionnelle de loci cibles impliqués dans la qualité des fruits, la résistance au stress et la durabilité de la résistance, l'accès à la diversité allélique grâce au séquençage et aux techniques de génomique étendue ouvrent la voie à une sélection de plus en plus technique.

Figure 4
Production en culture protégée de semences d'hybride de chou en Anjou (photo ©E.Laurent)

LES SUCCÈS DE LA SÉLECTION FRANÇAISE GRÂCE À L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

Plusieurs publications font le point sur la sélection végétale française depuis 1955 : Pitrat (2002), Pitrat et Foury (2003), Doré et Varoquaux (2006), Brand et Audergon (2013), Pitrat et Audergon (2015). Nous donnons quelques exemples d'avancées génétiques et de nouvelles variétés inscrites au Catalogue officiel provenant de l'INRAE et ses partenaires.

Figure 5
Uniformité de carottes hybrides en Sologne (A) carottes prêtes à être récoltées (photo ©Vilmorin) (B) Procédé industriel (photo ©HMClause)

Sélection conservatrice et sanitaire du matériel commercial

La sélection conservatrice permet de conserver un matériel génétique conforme à lui-même et exempt de bio-agresseurs transmis par les semences et les plantes. Elle est appliquée avec succès au maintien des variétés à pollinisation ouverte, des variétés lignées commerciales (laitue, haricot, pois, tomate…) et des lignées parentales des hybrides. Les croisements entre frères et sœurs ou la culture in vitro sont utilisés pour maintenir les lignées à faible vigueur des espèces allogames (asperge, artichaut, oignon, poireau, etc.).

Pour la plupart des espèces à reproduction sexuée, la sélection sanitaire (choix des plantes porte-graines) et les méthodes de prophylaxie pendant la reproduction (sous tunnel insect-proof) sont utilisées pour se prémunir des parasites transmis par les semences. Dès les années 1960, la production de semences saines a été établie sur :

- le haricot pour les bactéries *Pseudomonas savastanoï pv. phaseolicola* et *Xanthomonas axonopodis pv. phaseoli,*
- la laitue pour le virus de la mosaïque de la laitue (LMV, genre *Potyvirus*),
- les épinards et la mâche pour le mildiou (*Peronospora* spp.),
- la tomate pour le *Tobacco mosaic virus* (TMV, genre *Tobamovirus*), le *Pepino mosaic virus* (PepMV, genre *Potexvirus*) et *Clavibacter michiganense* subsp. *michiganensis.*

En 2015, 260 bio-agresseurs sont réglementés dans le monde, dont 40 dans l'UE, pour garantir un commerce sain des semences, conformément aux recommandations de la norme NIMP38 de la Convention internationale pour la protection des végétaux sur les mouvements internationaux de semences.

Les espèces à multiplication végétative (ail, échalote, artichaut, asperge, fraise) font l'objet d'une sélection sanitaire, avec ou sans culture de méristèmes. Les productions des plantes des générations initiales et commerciales sont certifiées sous le contrôle du Service officiel de contrôle et de certification (SOC). La France est l'un des principaux acteurs mondiaux pour la commercialisation de plants et semences certifiés sains de :

- ail et échalote indemnes de *Onion yellow dwarf virus* (OYDV, genre Potyvirus), *Leek yellow stripe virus* (LSV, genre Potyvirus), nématodes et *Sclerotinia* (réalisé par l'INRAE d'Avignon et Landerneau) (Messiaen et al., 1993),
- fraisier exempts de nématodes, de *Phytophthora cactorum* et de *Verticillium dahliae* (réalisé par le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, CTIFL).

La diversification

Les sélectionneurs améliorent en permanence le matériel génétique pour qu'il corresponde le mieux possible aux exigences des producteurs et des metteurs en marché, dans un contexte diversifié de terroirs, de conditions de culture (des ceintures vertes de plein champ aux cultures hors sol, en passant par les cultures mécanisées pour les industries agro-alimentaires) et de techniques de commercialisation.

La diversification des produits récoltés concerne principalement les Solanacées (tomate, poivron, aubergine), les cucurbitacées (melon, courgette, concombre) et la laitue, espèces pour lesquelles l'effort de sélection a été le plus important en France depuis 1985 (en nombre de nouvelles variétés inscrites) :

- Tomate pour le marché français et européen. La plante a été adaptée aux différents environnements agro-climatiques des cultures protégées (aptitude à la nouaison, vigueur racinaire, homéostasie ou plasticité). Les fruits ont été diversifiés en termes de couleur, forme, fermeté, homogénéité, même si le marché français reste globalement dépendant de deux idéotypes (calibres 150 et 200 g, fruits fermes, lisses, rouges, sans collet vert).
- Melons de type charentais, espagnol, italien brodé, « Galia », américain, coréen ou japonais. La teneur en sucre, la fermeté et la conservation, la proportion de chair, l'homogénéité de la présentation des fruits ont été améliorées par des croisements génétiques entre ces types varietaux.
- Poivrons quadrangulaires. La plante a été adaptée aux différents environnements agro-climatiques de la culture sous abri (aptitude à la nouaison, vigueur des racines, plasticité), l'épaisseur du péricarpe a été augmentée et la couleur des fruits a été intensifiée. Le marché méditerranéen s'intéresse désormais au type corne.
- Variétés de laitue. La plante a été adaptée à divers environnements agroclimatiques, notamment en ce qui concerne la résistance à la montaison et à la pommaison en jours courts, et de nouveaux types ont été proposés (par exemple « semi pommant », feuilles anthocyanées, feuille de chêne…).

La diversification a également permis de créer de manière significative de nouveaux idéotypes pour les chicorées scarole et frisée (résistance à la montaison), le chou brocoli (plante « multi-jets »), le haricot et le pois (adaptation à la récolte mécanique), le concombre (plantes gynoïques avec fruits à épiderme lisse, et plus récemment type « beth alpha »), la courgette (couleur du fruit).

Les innovations

Les conditions techniques de production ont profondément évolué entre 1960 et 1990 en plein champ (semis de précision, mécanisation). La qualité des semences a été améliorée grâce aux techniques de production des semences (qualité, taille, uniformité, état sanitaire). Cet nouvel environnement a induit de profonds changements dans les objectifs de sélection et la création de nouveaux types variétaux, que nous illustrons ci-dessous par plusieurs exemples.

A . La transformation du système de production et du produit : la chicorée endive

L'endive est l'exemple le plus significatif en France, pour lequel les sélectionneurs ont proposé vers 1970 une technique de production du chicon (bourgeon apical de l'endive) transformant le procédé traditionnel de forçage à l'extérieur en hiver, dans une fosse avec de la terre végétale, avec des conditions de travail difficiles, en un système de forçage mécanisé dans des salles de culture climatisées et en conditions hydroponiques, avec des variétés spécifiquement adaptées à la formation du chicon sans terre végétale. L'effort de sélection a été valorisé sous forme d'hybrides F1, d'abord créés avec le système de compétition pollinique, puis avec la stérilité mâle géno-cytoplasmique issue du groupe de la chicorée industrielle (initialement obtenue par fusion de protoplastes avec le tournesol). Les caractéristiques visées sont la capacité à produire des chicons sans terre et à produire des racines physiologiquement adaptées au forçage hydroponique, y compris dans des conditions de faible apport, l'homogénéïté de la présentation, la conservation post-récolte de l'endive, le rendement, la tolérance à l'axe brun, la réduction de l'amertume, la diversification de la précocité du matériel pour étendre le calendrier de production et la tolérance aux herbicides.

B . Création de matériel adapté à la production intensive : hybrides d'espèces allogames

L'objectif était de créer des variétés homogènes et vigoureuses, adaptées à la production mécanisée, capables de résister aux aléas climatiques et aux bio-agresseurs, et productives. Les programmes de sélection ont ciblé des espèces de légumières allogames telles que les Brassica *(Encadré 4),* la carotte, l'oignon, le radis, le poireau, le navet, le fenouil et la betterave.

En carotte, les variétés améliorées issues des populations traditionnelles ont obtenu des rendements remarquables jusque vers 1975 (par exemple, les sélections des variétés améliorées «Nantes demi-longue rouge», «Touchon», «Bureau», «d'Amsterdam»). à partir de 1980, l'amélioration des techniques de semis (passage du semis épars au semis de précision), assurant une meilleure expression des potentialités de chaque plante, a permis de renforcer l'homogénéité apportée par les hybrides F1. L'utilisation d'hybrides trois voies a facilité la production de semences en augmentant la productivité en semences du parent femelle. La structure génétique des hybrides permet de cumuler de nombreux caractères intéressants, notamment des gènes de résistance à divers pathogènes (Alternaria dauci, oïdium, cercosporiose), la résistance à l'éclatement, la résistance des racines, la résistance du feuillage à la récolte mécanique, la précocité et la rusticité, un rendement précoce élevé et la réduction du taux de déchets. La qualité des racines a également été améliorée : épiderme lisse et brillant, pivot fin, couleur uniforme entre le xylème et le phloème, absence de collet vert. Plus récemment, des lignées di-haploïdes ont été utilisées dans des combinaisons parentales hybrides afin d'augmenter le niveau d'homogénéité de ces variétés.

La technologie des semences (calibrage, vigueur, aptitude à lever à des températures estivales élevées) a accompagné le succès de ce renouvellement variétal qui s'étend dans le monde entier. Les entreprises françaises et néerlandaises restent les leaders sur ces marchés mondiaux de la carotte hybride (Brand et Audergon, 2013).

ENCADRÉ 4

Structures hybrides chez Brassica *(Source : R. Prieur, Harris Moran-Clause Company)*

Chez les Brassica, l'allogamie nécessaire au maintien des variétés populations hétérogènes était un frein au développement d'une production homogène à cycle court. Les sélectionneurs européens et japonais ont opté pour une structure hybride F1 grâce à la découverte d'allèles S d'auto-incompatibilité. Le gain en homogénéité et en vigueur a été important et des formules hybrides ont été développées pour plusieurs espèces de Brassica : chou pommé, chou-fleur, chou brocoli, chou-rave. Cependant, les travaux de sélection avec les allèles S ont nécessité des tests de compatibilité, et l'auto-incompatibilité ultérieure n'était pas totalement fiable.

L'innovation s'est donc poursuivie avec la création d'hybrides F1 de chou-fleur et de brocoli utilisant la stérilité mâle, d'abord d'origine nucléaire, puis d'origine cytoplasmique. Cette dernière, mise en évidence au Japon chez le radis « Ogura », a été transférée par fusion de protoplastes à d'autres Brassica légumières ainsi qu'au colza. À partir de la fin des années 1990, des lignées di-haploïdes, obtenues par culture *in vitro* de microspores de chou-fleur et de brocoli, ont été largement utilisées comme parents hybrides. Aujourd'hui, la stérilité mâle cytoplasmique chez Brassica est largement utilisée dans le monde entier. Son utilisation en Europe a contribué au développement de marchés mondiaux pour les entreprises françaises et néerlandaises pour le chou-fleur et le chou pommé.

C . La sélection pour les caractères de qualité

La qualité organoleptique et nutritionnelle, chère à la gastronomie française, est un verrou qui a été constamment ignoré par les sélectionneurs. Pendant longtemps, agronomes, producteurs et metteurs en marché ont minimisé l'importance de ce critère en mettant en avant le concept de demande sociétale, qui privilégiait les légumes faciles à transporter et à conserver, rapides à transformer. Ces critères sont très éloignés des qualités organoleptiques et culinaires des légumes. Citons quelques contre-exemples où la sélection a été convaincante, en utilisant des méthodes de sélection empiriques :

- Pour un produit de qualité : exemple du haricot vert

Les réalisations de la sélection en matière de réduction du parchemin et du fil dans la gousse sont exemplaires. Le développement d'une filière de haricots de qualité, héritée du «filet» français récolté à la main juste avant le développement du fil, a conduit les sélectionneurs français dès 1975 à améliorer le haricot « mangetout » pour la finesse et la rectitude de la gousse, et à adapter l'architecture de la plante et sa floraison à la récolte mécanique (croisements entre groupes de culture incluant des géniteurs sauvages). Ainsi amélioré, un nouveau type de haricot a été créé : le haricot «filet sans fil». Ce nouveau type concerne actuellement plus de 50 % des haricots semés en France pour l'industrie, et il est également apprécié par les jardiniers. Cette amélioration a cependant une limite, car en l'absence de fil, les producteurs, les jardiniers et les consommateurs ont une perception erronée de l'âge des gousses. Des gousses fraîches trop vieilles sont fréquemment commercialisées, sans fil et droites, mais contenant des grains presque mûrs qui nuisent à la saveur des gousses.

- Pour le goût : exemples de la fraise, du melon et de la tomate

Des variétés de fraise alliant le goût de la fraise des bois et les performances de la fraise d'industrie ont été créées (INRA, CIREF - Centre interrégional de recherche et d'expérimentation sur la fraise, sociétés privées Darbonne, Marionnet). Elles s'appuient sur les concepts de « Garriguette » (INRAE, 1972) et de « Mara des Bois » (Marionnet, 1992), et combinent une saveur et des arômes exceptionnels avec le rendement, la fermeté et la conservation du fruit.

Pour le melon, des programmes de sélection pour le goût ont été mis en place (par exemple, la teneur en sucre), basés sur l'utilisation de géniteurs identifiés pour leur qualité gustative. Pour l'aubergine, le concombre, l'endive et la laitue, les programmes de sélection se sont concentrés sur la réduction de l'amertume.

Pour la tomate, l'INRAE et les sélectionneurs français ont travaillé de 1956 à 1985 à l'amélioration des types traditionnels de tomates françaises (« Saint Pierre » et « Marmande »). L'INRAE s'est concentré sur l'amélioration du fruit (homogénéité de la couleur rouge, élimination des taches, régularité du nombre de locules, équilibre sucre/acide, résistance à la fente du fruit, légère fermeté) et de la plante pour sa plasticité d'adaptation à divers environnements climatiques. Elles ont connu un grand succès (de « Montfavet H.63.5 » à « Ferline », en passant par les variétés diffusées par le secteur privé). Après la période des types à fruits à « longue conservation » (voir ci-dessous la section « Améliorer la capacité de conservation »), un programme de recherche fondamentale sur la qualité des fruits a été développé dans les années 2000 par M. Causse à l'INRAE avec des résultats de méthodologies de mesure, la génétique des caractères de qualité et du matériel adapté à la SAM (Navez et al., 2016).

Récemment, l'industrie légumière s'est concentrée sur l'amélioration de la teneur en composants favorables à la santé humaine, tels que : l'enrichissement en glucosinolates dans le chou brocoli, en provitamines, vitamine C, flavonoïdes et caroténoïdes dans le poivron, en provitamine A, vitamine C, β-carotène et lycopène dans la tomate et la carotte, et la sélection pour les propriétés antioxydantes des melons utilisés en cosmétique.

Figure 6
Formes et couleurs de variétés de tomates commercialisées en 2015 (photo ©R.Brand)

D . Sélection pour l'adaptation à la production sous serre

L'adaptation des cultures aux serres, chauffées ou non, et plus généralement aux conditions défavorables (jours courts, faible intensité lumineuse, basses températures, forte humidité) a mobilisé les sélectionneurs depuis les années 1970. Quelques réalisations françaises méritent d'être citées :

- La sélection de laitues capables de former des pommes en jours courts et faible luminosité a abouti dès les années 1960 (travaux initiaux néerlandais exploités par les semenciers français). Elle a généré une production européenne de laitues sous serres et tunnels pendant l'hiver. Un travail équivalent d'adaptation aux jours courts et de faible luminisité a été réalisé sur le radis (INRAE Avignon et semenciers).
- Sélection des solanacées pour les conditions «température froide, jours courts, faible intensité lumineuse» et pour la résistance aux maladies. De 1956 à 1970, les sélectionneurs de l'INRAE d'Avignon, relayés par ceux du secteur privé, ont amélioré la capacité de fructification des génotypes de tomate en conditions froides (pollen demeilleure germination), en plein champ comme en serre, avec une végétation aérée limitant les parasites du feuillage. Ces travaux ont abouti à la création d'hybrides de type «Montfavet 63-5» (INRAE, diffusé en 1963, inscrit en 1973), puis à partir de 1975, de nombreux hybrides de semenciers (ex : «Lucy», 1973, «Carmello», 1979) qui ont connu un grand succès en Europe, en Méditerranée et au Moyen Orient. Un travail équivalent a été réalisé pour le poivron (par exemple, «Lamuyo», 1973, «Sonar», 1980) et l'aubergine (par exemple, F1 Bonica, 1973). Ces nouveaux génotypes ont contribué à l'explosion de la production industrielle sous serre en Espagne, en Italie et au Maroc, de 1975 à 1985, avec également une forte contribution des sociétés de semences néerlandaises, italiennes et espagnoles. La parthénocarpie partielle a également été utilisée pour la tomate et l'aubergine. Ces programmes ont été régulièrement mis à jour pour répondre à l'évolution de ces marchés, jusqu'à aujourd'hui. Des centaines de variétés ont été sélectionnées pour ces marchés, en ce qui concerne la fermeté et, plus tard, la qualité organoleptique.

L'intensification de la culture sous serre a entraîné de graves déséquilibres microbiologiques du sol, auxquels les sélectionneurs ont remédié en créant des variétés et des porte-greffe résistants aux ravageurs et aux pathogènes du sol, en particulier pour la tomate (par ex, *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (FOL), *F. oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* (FORL), nématodes, *Pyrenochaeta lycopersici, Verticillium dahliae*), le poivron (nématodes, *Phytophthora capsici*) et le melon (*Fusarium oxysporum f. sp. melonis*). Depuis les années 2000, dans un contexte de réduction drastique de la désinfection chimique des sols, les programmes de sélection mobilisent des ressources génétiques pour répondre à ce défi. Les porte-greffes sont sélectionnés, soit au sein de l'espèce cultivée, soit à partir de croisements interspécifiques, soit à partir d'espèces sauvages. Les caractéristiques ciblées sont la vigueur du système racinaire, la résistance aux ravageurs et aux pathogènes, l'aptitude à une culture de longue durée avec de faibles besoins en chaleur (Torres et Brand, 2015). Depuis 2018, des recherches sur la vigueur et l'architecture des racines des solanacées et des ressources génétiques du melon sont entreprises (INRAE Avignon et semenciers).

Figure 7
Alonso, commercialisé dans les années 2010 par HM-Clause pour le marché "melon charentais" (photo I.Marzal ©INRAE-GEVES)

E . La maîtrise de la sexualité et ses déterminants génétiques

Chez le melon, la monoécie a été introduite dans le type Charentais à partir de la variété «Cantaloup d'Alger», au début des années 1980 (programme de sélection de la société Tézier). La preuve de concept a été diffusée sous la forme de variétés de type «Charentais» à écorce lisse, non réticulé (ni brodé ni écrit), précoce et monoïque («Alpha»,1982,...). La monoécie permet l'économie de la castration dans la fabrication des hybrides commerciaux. En effet, les génotypes monoïques développent des fleurs femelles sur la tige principale, améliorant ainsi la précocité de production et réduisant le coût de la taille manuelle. Progressivement, les défauts associés à la monoécie (vitrescence et tendance à l'allongement des fruits) ont été réduits. La monoécie s'est ensuite étendue à tous les types de melons dans le monde.

Des changements radicaux des structures génétiques et du mode de reproduction des variétés se sont également produits dans le cas de formules hybrides suffisamment homogènes propagés par semences,

- pour l'artichaut (INRA Avignon, Nunhems), les hybrides (de lignées et ou de clones) remplaçant les clones traditionnels, multipliés végétativement,
- pour l'asperge (INRA Versailles, Vilmorin, Darbonne, Marionnet), les structures hybrides remplaçant les populations ouvertes (OP).

Virages stratégiques

La sélection a pris plusieurs virages stratégiques au cours des 70 dernières années. Nous en illustrons trois : l'homogénéité des variétés, la résistance aux bio-agresseurs et l'amélioration du post-récolte des légumes.

A . L'homogénéité des variétés

Les 50 dernières années ont été marquées par une forte augmentation de l'homogénéité des variétés, basée sur la diffusion de lignées pures, exploitées pour elles-mêmes ou comme parents d'hybrides, et de clones pour les espèces à multiplication végétative. Des structures hybrides ont été créées et se sont presque généralisées pour les espèces présentant une biologie florale et un rendement en graines adéquats (Daunay, 2009). Pour certaines espèces, le contrôle de la stérilité mâle a permis la production industrielle de semences hybrides. D'abord utilisée chez les solanacées et les cucurbitacées, la stérilité mâle a été abandonnée en raison de son coût et de sa légère instabilité d'expression en fonction des conditions agro-climatiques. Au contraire, la production de semences hybrides avec un parent mâle stérile s'est généralisée chez les Brassicacées (INRAE Versailles, INRAE Rennes, semenciers), et les Ombellifères (INRAE Avignon, semenciers).

B . Résistance aux bio-agresseurs

La production de légumes est affectée dans le monde entier par 10 à 50% des pertes dues aux dommages causés par les bio-agresseurs. Dès la fin des années 1950, la sélection a commencé à créer du matériel génétique résistant aux principaux bio-agresseurs. La sélection pour la résistance génétique aux champignons, virus, bactéries et insectes concerne aujourd'hui environ 150 combinaisons hôte/pathogène (environ 40 espèces cultivées), soit 240 programmes de recherche en France à ce jour. Un réseau national géré par le GEVES est responsable de la maintenance et de la distribution des matériels de référence et de contrôle des cultures ainsi que des collections de référence des souches pathogènes (réseau MATREF). Les équipes de recherche françaises et européennes ont obtenu de grands succès dans l'introduction de résistances génétiques aux bio-agresseurs dans leurs variétés commerciales.

Bien que les risques de contournement des résistances monogéniques par les pathogènes soient bien documentés (par exemple, laitue/Bremia lactucae, poivron/Tomato spotted wild virus (TSWV), pois/Ascochyta et Fusarium oxysporum f. sp. pisi), elles sont encore largement utilisées et nombre d'entre elles n'ont pas été contournées (par exemple, le gène Are du haricot pour la résistance à Colletotrichum, le gène Tm2² de la tomate pour la résistance aux souches du virus TMV et les allèles L1, L2, E3, L4 du poivron (locus L)) qui procurent la résistance au TMV race 0 et au Pepper mild mottle virus (PMMoV), tous ces gènes étant utilisés depuis plus de 60 ans.

Combiner des mécanismes de résistance polygéniques à des mécanismes monogéniques et/ou à d'autres stratégies de protection reste un défi majeur qui mobilise les équipes de sélection.

Les pistes de recherche se diversifient :

- Empilement des gènes. Chez le poivron par exemple, le gène majeur pvr2 de résistance aux potyvirus, qui diminue la population de virus dans la plante, est associé à un QTL particulier qui diminue la probabilité d'apparition de mutants viraux et retarde ainsi le phénomène de contournement du gène de résistance,
- Identification des stimulateurs de défense naturelle (NDS),
- Gestion de la résistance, comme l'alternance de l'emploi des gènes de résistance dans le temps et dans l'espace, afin de limiter la pression de sélection de l'hôte sur le pathogène.

La recherche française s'intéresse actuellement aux résistances génétiques partielles, associées ou non à des techniques de production. Les résistances partielles polygéniques sont censées être plus « durables » que les résistances monogéniques. Leur utilisation est pertinente dans le cadre de l'agroécologie (Torres et al., 2018), où les rotations culturales, le complexe argilo-humique, la vie biologique du sol, le milieu environnant et le bassin de production sont considérés dans leur ensemble.

Figure 8
Récolte mécanique d'inflorescences d'oignon pour l'extraction des semences, en Poitou-Charentes, (photo ©F. Pavy)

C . Améliorer la capacité de stockage à long terme du produit récolté

Pour la tomate, depuis 1980, la spécialisation des zones de production éloignées des marchés de consommation français et nord-européens (ex : Sicile, Espagne, Canaries, Maroc) a conduit les metteurs en marché à privilégier des produits de longue conservation et résistants au transport. Pour la tomate en particulier, la fermeté du fruit a été introduite dès le début des années 1980 dans les programmes de sélection de l'INRAE et des semenciers, conduisant à la création de variétés françaises dérivées de «Ferline» F1 (1986), et d'hybrides pour les marchés méditerranéens («Cristina», 1990, puis «Elena»). Par la suite, l'introgression du gène rin à l'état hétérozygote s'est généralisée, entre autres en raison du succès mondial de «Daniela» (1989), et de ses nombreuses diversifications. Le gène rin réduit la production d'éthylène, la biosynthèse des caroténoïdes, le ramollissement des fruits et le développement de l'arôme. En conséquence, les fruits sont trop fermes, insuffisamment colorés (en automne France sous serre) et manquent de goût. Le gène rin a donc été remplacé à partir de 2005 par des constructions polygéniques qui permettent un épaississement des parois externes et inter-carpellaires et offrent une qualité gustative acceptable. Ces types génétiques améliorés ont approvisionné les marchés, d'abord dans les deux calibres recherchés par la grande distribution, puis dans de nouvelles variétés issues de la diversification (tomate italienne, cerise, grappe, allongée, verte, jaune, noire). À partir de 2010, sous la pression du consommateur et grâce aux producteurs locaux, les variétés anciennes dites «authentiques» sont réapparues, telles que «Marmande», «Cœur de bœuf», «Ananas», «Noire de Crimée», «Rose de Berne», produites essentiellement pour les marchés locaux.

Pour le melon, le type charentais se caractérise par une crise climatique conduisant à des fruits aromatiques de courte conservation. Par croisements successifs avec des types espagnols, les sélectionneurs français ont réussi à créer des melons de type charentais dépourvus de crise climactérique. Hybridés avec d'autres variétés à fruits fermes des États-Unis (types Est et Ouest) et du Japon, ils ont créé un nouvel idéotype (charentais rond brodé) produisant des fruits sucrés avec une écorce brodée et une durée de conservation des fruits de 5-6 jours considérée comme appropriée pour le marché.

Des années 1950 à nos jours, la France a joué un rôle majeur dans l'amélioration génétique des espèces légumières pour satisfaire une demande mondiale de variétés et de semences de haute qualité. Ceci résulte d'un partenariat fructueux entre la recherche publique (INRAE, CTIFL, universités) et la recherche privée, soutenu par plusieurs entreprises semencières à vocation internationale qui animent le secteur.

Ce partenariat doit maintenant accompagner la transition des marchés français et européens vers l'agroécologie, l'agriculture biologique et les systèmes alimentaires territorialisés, dans un contexte de production moins intensive. Ceci est essentiel pour réduire les conséquences négatives de l'agriculture productiviste sur la santé humaine et l'environnement.

Modèle français d'organisation professionnelle pour le secteur des semences légumières

STRUCTURATION ET RÉGULATION

Pour les semences de légumes,

l'organisation professionnelle française a mis en place très tôt une collaboration étroite entre les institutions publiques et les semenciers privés, comme stratégie de synergie entre les acteurs de la filière, afin de soutenir la recherche, l'innovation, l'industrialisation et l'internationalisation.

Dès 1950, afin d'organiser le marché et de contrôler les droits des utilisateurs de variétés (agriculteurs, industriels et consommateurs), des études sur les variétés commercialisées ont été menées, dans le cadre du Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) du Ministère de l'Agriculture, i) à l'INRAE, ii) à l'Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture (actuellement AgroCampus Ouest, Angers) en collaboration avec les entreprises semencières. Ces études ont abouti à la création du premier catalogue national officiel des variétés de légumes et de fraises (1960).

À partir de 1960, l'inscription des variétés au Catalogue officiel et le contrôle des lots de semences ont été structurés au sein du CTPS, chargé entre autres de conseiller le ministère de l'agriculture sur l'adoption et la gestion de la réglementation concernant leur commercialisation. L'inscription des variétés est d'abord déléguée à l'INRAE (Département de génétique et d'amélioration des plantes) puis au GEVES, l'un de ses services (1970), devenu depuis un Goupement d'intérêt public. Le volet qualité des semences a été déléguée au Service officiel de contrôle (SOC) dont la gestion est confiée au Groupement national interprofessionnel des semences (GNIS)[2]. Ces organismes rapportent au CTPS, qui donne son avis final et sa proposition au Bureau chargé des variétés et des semences au sein du Ministère de l'Agriculture. C'est ce bureau qui prend la décision officielle d'inscription d'une variété et propose au Ministre l'adoption des textes réglementaires. La concertation et l'harmonisation européenne se construisent au sein du Comité permanent des semences de l'Union européenne, assurant un libre marché des semences et des variétés sur le territoire européen. D'autres études sur la semence sont menées à la Station nationale d'essais de semences du GEVES (SNES, https://www.geves.fr/about-us/national-seed-testing-station/) pour caractériser la qualité des lots de semences commerciales. En conséquence, le marché des semences et variétés est assaini et offre une garantie de qualité à ses acteurs.

Afin de protéger les droits des obtenteurs de nouvelles variétés végétales, le législateur a introduit en France, en 1970, une loi sur la protection des obtentions végétales qui confère à l'obtenteur un droit fiable et limité dans le temps. Ce système est géré en France par une autorité, l'Office national des obtentions végétales (INOV) dont la gestion est confiée au GEVES. Un droit européen équivalent est accordé par l'Office communautaire des variétés végétales (OCVV), qui confère le droit sur le territoire de l'UE. L'Union mondiale pour la protection des obtentions végétales (UPOV, créée en 1961), harmonise les aspects techniques et juridiques sous forme de recommandations internationales. La France est très active dans ces instances. Le Directeur de l'INRA dans les années 1950, M. Bustarret, a été l'un des créateurs actifs du droit d'obtenteur instauré par la Convention de Paris en 1961.

(2) Le GNIS devient SEMAE à partir du 27 janvier 2021 (www.semae.fr)

La France est très active dans ces instances. Le directeur de l'INRAE de l'époque a été l'un des créateurs actifs du droit d'obtenteur instauré par la Convention de Paris en 1961.

L'organisation de la production et de la commercialisation des semences nationales est assurée par le GNIS, qui constitue un lieu de dialogue, d'échange et de décision entre les groupes d'acteurs professionnels concernés par les semences et les plants, depuis la sélection des variétés jusqu'à l'utilisation des semences et des plants. Le GNIS fournit également un cadre contractuel pour les relations entre les entreprises semencières et les agriculteurs multiplicateurs de semences. Son service technique, le SOC, est chargé du contrôle de la qualité des semences et plants par l'État français *(Encadré 5)*. Le GNIS joue également un rôle dans la promotion du secteur végétal en France et à l'étranger.
La Fédération nationale des agriculteurs multiplicateurs de semences (FNAMS) est la structure nationale qui gère les aspects économiques et techniques de la production de semences par les agriculteurs et les représente au niveau économique et syndical. La FNAMS joue le rôle d'institut technique des semences dont les actions sont financées par l'interprofession.

ENCADRÉ 5

La qualité d'une variété de légumes et d'un lot de semences de légumes

La qualité officielle d'une variété de légumes est évaluée en France par deux systèmes complémentaires. La variété est soumise à des tests normalisés obligatoires au niveau européen et mondial (UPOV) pour vérifier son identité, son homogénéité et sa stabilité (test D.H.S.). Sa carte d'identité est établie avec ses principales caractéristiques, dont sa résistance génétique aux maladies. À l'issue de ces tests réalisés par le GEVES, et sur proposition du CTPS, la variété est inscrite au Catalogue Officiel des Variétés et au Catalogue Communautaire, ce qui lui confère une autorisation de commercialisation sur le territoire de l'UE.

Ses qualités de rendement et d'adaptation au contexte agro-climatique et économique du marché français sont testées de manière non obligatoire par des instituts techniques : CTIFL, Union Nationale Interprofessionnelle des Légumes de Transformation (UNILET), des stations régionales ainsi que des groupements de producteurs.

La qualité des lots de semences produits en France est contrôlée par le SOC dans des laboratoires agréés, sur la base de critères de qualité tels que la pureté de l'espèce, la germination et la vigueur, avec des tests harmonisés au niveau de l'UE et de l'OCDE. Le GEVES-SNES coordonne ces laboratoires, notamment pour assurer l'application des recommandations de l'Association internationale d'essais de semences (ISTA), afin de garantir les exportations et les importations hors de l'UE. Une fois an-1, le SOC rend compte de son activité au CTPS.

Depuis 1960, le secteur français des semences légumières a évolué dans une stratégie de concertation avec les pouvoirs publics français et européens, tant pour promouvoir la recherche contractuelle que pour réguler les marchés et garantir un haut niveau de qualité des variétés et des semences. Le CTPS a facilité l'adéquation entre les demandes économiques et les intérêts des acteurs, et a relayé les synthèses et les conclusions auprès des instances décisionnelles de l'État. Depuis 1990, le modèle français et ouest-européen s'est étendu à l'Europe de l'Est, à l'UE, aux pays méditerranéens et africains. Il a fortement contribué au leadership français et néerlandais dans le monde.

La question est de savoir si ce modèle est capable ou non de s'adapter aux changements rapides à toutes les échelles induits par les défis mondiaux. Ceux-ci incluent la transition agro-écologique, l'adaptation de la réglementation des variétés, des semences et de la protection des obtentions végétales aux spécificités des pays en développement, ainsi que la nécessité de garantir la sécurité alimentaire, nutritionnelle et sanitaire des populations. La filière légumière française s'est emparée de ces questions.

RECHERCHE ET ENSEIGNEMENT

L'État et les organismes professionnels

ont structuré la recherche et l'enseignement en matière d'amélioration des plantes au niveau national.

Comme on l'a vu plus haut, l'INRAE a fortement investi dans le secteur végétal en créant des unités de recherche en génétique et amélioration des plantes légumières (stations de Versailles, Rennes, Avignon, Guadeloupe) et en biotechnologie (biologie des fruits et des semences à Bordeaux). D'autres institutions ont contribué à des efforts spécifiques sur les légumes tropicaux (CIRAD), la fraise (CTIFL), la chicorée witloof (CTIFL, Université de Lille), la carotte, le chou et le chou-fleur, le crosne du Japon, le crambe maritime, le céleri tubéreux (AgroCampus Ouest Angers et Rennes).

L'enseignement agricole spécifique aux productions légumières a été organisé pour former :

- des producteurs et des techniciens (niveau BTS en France, BSc dans le système anglo-saxon) : i) pour la production de légumes (par exemple, lycées agricoles de St-Germain-en-Laye, Sainte-Livrade, Albi), et ii) pour l'amélioration génétique des espèces et la production de semences (par exemple, lycées agricoles de Valence, Castelnaudary, Lille-Genech, Nermont, Pouillé).
- les cadres (BSc+1, MSc, PhD) dans les écoles et universités d'agro-ingénierie (Paris, Rennes-Angers, Montpellier, Toulouse, Nancy, Clermont-Ferrand, Beauvais, Lyon). Par exemple, AgroCampus Ouest Angers et l'Université d'Angers délivrent un Master en biologie végétale pour les semences et les plants, soutenu par l'Institut de recherche en horticulture et semences (IRHS).

La production de semences légumières en France

La filière française des semences légumières se caractérise par son savoir-faire et la forte implication de ses membres. Les différentes conditions agro-climatiques présentes en France sont propices à la production de semences de nombreuses espèces. Cette production est réalisée principalement en plein champ, mais aussi dans des tunnels qui peuvent être fermés par des filets insect-proof pendant la floraison pour contrôler la pollinisation.

LA FRANCE EST LE PREMIER PRODUCTEUR ET LE DEUXIÈME EXPORTATEUR EN EUROPE

Avec près de 22 000 ha de multiplication en 2019, dont 9 700 ha de légumes fins (ex : oignon, carotte, coriandre, betterave, persil, épinard) et 12 200 ha de légumineuses (ex : pois potager, pois chiche, haricot, lentille), la France est le premier producteur de semences légumières de l'Union européenne. Grâce à son savoir-faire reconnu en termes de qualité, la France est également le deuxième exportateur européen et affiche une balance commerciale positive de plus de 260 millions d'euros, dans un environnement international très concurrentiel. Le commerce mondial des semences légumières s'est élevé à 3,6 milliards d'euros en 2015. L'Europe, l'Amérique du Nord et les marchés asiatiques en croissance sont les plus rentables.

La production de semences s'appuie sur un réseau de 2 500 agriculteurs-multiplicateurs et 96 semenciers qui assurent un suivi, une traçabilité et un contrôle rigoureux à chaque étape de la production. Près de 1 500 pépinières réparties sur l'ensemble du territoire produisent également des plants de légumes pour les cultivateurs et les jardiniers. Chaque année, plus de 2 000 millions de plants sont commercialisés, dont 90% sont destinés au marché professionnel. Pour les semences et plants certifiées, quarante entreprises sont spécialisées dans la production de semences et plants d'ail, d'échalotes, de fraisiers et de griffes d'asperges. Cette activité a représenté 1 400 ha de multiplication en 2019.

La multiplication des semences légumières est répartie sur l'ensemble du territoire français en zones de multiplication *(Figure 1)*. Chaque zone présente des conditions pédoclimatiques spécifiques et des terroirs favorables à 73 espèces : le pois potager (4 300 ha), le pois chiche (4 050 ha), l'oignon (1 990 ha) et la carotte (1 530 ha) occupent les surfaces les plus importantes *(Figure 9)*. La surface totale consacrée à la production de semences légumières a augmenté régulièrement depuis 2012 *(Figure 2)*, à l'exception d'une brève baisse en 2019, expliquée par les récoltes exceptionnelles de 2017-2018.

Les semenciers continuent de miser fortement sur le développement économique des semences légumières. Ils investissent 25 % de leur chiffre d'affaires dans la recherche et le développement, afin de créer les variétés de demain adaptées aux marchés et aux enjeux environnementaux.

La valeur des exportations de semences légumières et florales, bien qu'en stagnation en 2018-2019 par rapport aux campagnes précédentes, a bondi de 48 %, passant de 313 à 462 M€ entre les campagnes 2011/2012 et 2018/2019. Sur la même période, les importations ont augmenté de 49 %, passant de 134 à 200 M€. La balance commerciale des semences légumières reste largement excédentaire avec un solde positif de 262 M€, dont 92 % sont liés aux légumes fins *(Figure 10)*.

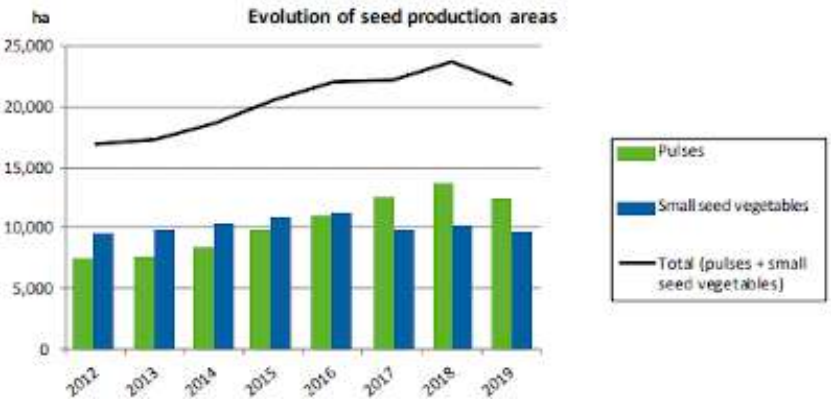


Figure 2
Évolution des surfaces (en ha) de la production de semences de légumes en France entre 2012 et 2019. **Source :** FNAMS.

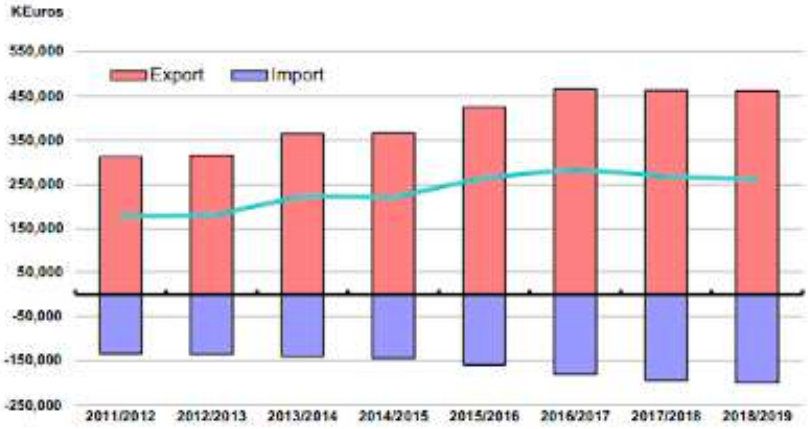


Figure 3
Évolution du solde commerciale net français (en K€) pour les semences de légumes et de fleurs entre 2012 et 2019. **Source :** GNIS.

UN TRAVAIL TECHNIQUE IMPORTANT QUI CONTRIBUE À L'EXCELLENCE DU SECTEUR

Les résultats du secteur des semences légumières s'expliquent par des atouts importants :

- une solide organisation de la filière, qui permet la production de semences de qualité,
- des terroirs et des conditions climatiques favorables,
- un réseau structuré d'agriculteurs-multiplicateurs disposant d'un savoir-faire technique reconnu et d'équipements spécifiques,
- un climat de confiance entre les acteurs de la filière concernant la confidentialité des variétés multipliées,
- un suivi rigoureux de la production par les semenciers,
- une collaboration étroite entre les agriculteurs-multiplicateurs et les apiculteurs, pour assurer la pollinisation des cultures porte graines,
- un contrôle sanitaire de la production, avec des cultures sous tunnels insect-proof pour éviter les maladies virales, ou dans des zones protégées en altitude. Le contrôle sanitaire des semences produites met en œuvre de nombreux tests pour garantir l'absence de 112 champignons, 42 bactéries, 71 virus et viroïdes, 27 insectes et 5 nématodes, principalement sur Brassica, haricot, poivron et tomate.

Par ailleurs, la production de semences obéit à des règles strictes avec des contrôles à tous les stades, de la multiplication à la commercialisation, afin de fournir des semences de qualité répondant aux exigences des maraîchers, des pépiniéristes et des jardiniers.

Chaque année, la section légumes et fleurs du GNIS définit un programme d'activités techniques destiné à améliorer la production et la qualité des semences multipliées sur le territoire national, en termes de qualité sanitaire et de pureté spécifique (absence de semences d'autres espèces). Ce programme, mis en œuvre par la FNAMS, vise à maintenir la compétitivité de l'industrie française.

Ces dernières années, ce programme a mis l'accent sur les méthodes alternatives de désherbage et de lutte contre les maladies et les ravageurs : outils mécaniques, robotique, produits de biocontrôle et protection biologique intégrée. Cette nouvelle orientation s'est accentuée en 2019 avec une partie du programme consacrée au contrôle de la production de semences légumières pour l'agriculture biologique (AB), dès l'implantation de la culture *(Encadré 6)*.Les résultats sont régulièrement communiqués aux semenciers et aux agriculteurs-multiplicateurs par le biais de réunions techniques, de circulaires techniques, de brochures, d'un magazine bimestriel et des sites internet de SEMAE (ex-GNIS) et de la FNAMS (www.fnams.fr/produire/production-de-semences/potageres/).

ENCADRÉ 6

Les semences légumières de l'agriculture biologique *(AB)* pour favoriser le développement de l'AB

Avec l'évolution des habitudes de consommation alimentaire, et le souci croissant des consommateurs pour les signes de qualité des produits, la production de légumes «bio» est en forte progression en France, comme en témoignent les surfaces qui ont doublé au cours des six dernières années. Répondre à ce marché en forte croissance représente un défi pour le secteur des semences. La production de semences AB est complexe car elle doit répondre à une double exigence : le respect des règles et normes appliquées aux semences, ainsi que le respect du cahier des charges AB. Si la multiplication des semences légumières AB concerne encore des surfaces limitées, elle est en constante augmentation. La production représente 740 ha en 2019 (333 ha en 2014) et concerne principalement la lentille, le pois chiche, l'oignon, le radis, la betterave et la carotte. Avec des multiplications également réalisées à l'étranger, l'offre de semences légumières AB est en forte croissance : en 2019, plus de 1250 variétés ont été commercialisées par 35 semenciers. Le secteur semencier a pour objectif de poursuivre ce développement et d'accompagner les agriculteurs-multiplicateurs dans ces productions plus complexes pour plus de réussite technique et économique.

GESTION INFORMATISÉE DE LA LOCALISATION DES CULTURES POUR GARANTIR LA QUALITÉ VARIÉTALE DES SEMENCES

Parmi les qualités attendues, le lot de semences doit correspondre exactement à la variété choisie (conformité et pureté). La pureté variétale est directement liée à la pollinisation, qui nécessite des distances d'isolement minimales entre les parcelles de multiplication pour éviter l'arrivée de pollen indésirable sur le champ de porte-graine. Les distances d'isolement tiennent compte de la biologie florale de chaque espèce : autogamie (autopollinisation) ou allogamie (pollinisation croisée), entomophilie (pollinisation par les insectes) ou anémophilie (pollinisation par le vent). Les distances varient de 100 m (pour le pois) à 5 000 m (pour certains types de carottes).

Afin de faciliter la gestion des isolements, le secteur s'est doté d'un outil cartographique informatisé. Il permet de télédéclarer les cultures avant leur mise en place, avec une localisation précise des parcelles sur une carte IGN (Institut Géographique National). Ces localisations, consultables par les acteurs de la filière via une interface Internet, sont validées, après vérification des distances d'isolement entre les parcelles, lors de réunions régionales réunissant des représentants des entreprises et des agriculteurs-multiplicateurs. Après validation, les parcelles peuvent être plantées. Cet outil, apprécié par le secteur, concerne actuellement 23 espèces, ce qui représente plus de 3 000 parcelles cartographiées sur le territoire et une douzaine de réunions régionales an-1 pour valider les implantations.

Des variétés et des semences plus respectueuses de la santé humaine et de l'environnement

Depuis 1980,

les semenciers commercialisent des variétés anciennes ou directement sélectionnées à partir de celles ci, qui intéressent les jardiniers et les producteurs visant la distribution directe : les consommateurs redécouvrent des goûts, des formes et des textures issus d'une plus grande diversité génétique.

Des entreprises semencières ont pris le virage, en adoptant ces enjeux. Elles contribuent au développement de systèmes de production de semences qui respectent les spécifications de l'AB, et/ou elles apportent une plus grande diversité génétique sur le marché des semences. C'est le cas de Sativa et Zollinger en Suisse, KulturSaat et Bingenheimer Saatgut en Allemagne, et Agrosemences, Germinance, Graines Del Pais, le Biau Germe, Essem Bio ainsi qu'une vingtaine d'artisans semenciers dans les régions françaises. Le Réseau Semences Paysannes (www.semences-paysannes.org) coordonne les actions en ce sens. Les semenciers industriels développent également la production de semences AB pour cibler un marché qui correspond en 2019 à 8 % des ventes françaises (5 % en 2015).

Les variétés diffusées sont phénotypiquement diversifiées, et selon les segments de marché, il s'agit :

- des variétés modernes, hybrides ou non, destinées à l'AB intensive,
- des variétés anciennes connues ou «oubliées», y compris en provenance d'autres continents (ex : Seed Savers aux USA),
- les variétés créées spécifiquement pour le contexte de l'AB (par exemple, Sativa, KulturSaat), telles que les OP.

Une réflexion nationale est en cours depuis 2000, et des stratégies d'action ont été initiées pour aboutir à des pratiques de production de légumes plus respectueuses de la santé humaine et de l'environnement, notamment en matière de qualité nutritionnelle et de préservation de la biodiversité. Dans le même temps, le critère d'homogénéité devient moins prioritaire, et grâce aux circuits courts alimentaires qui progressent en parallèle (notamment pour les légumes), la notion de conservation et de résistance aux aléas du transport perd de son importance.

Les modèles économiques et agronomiques sont également passés en revue, notamment en ce qui concerne les méthodes de sélection (sélection participative, production de semences de ferme) et leur efficacité. Le questionnement contextuel est pris en compte : par exemple, une trop forte d'homogénéité variétale limiterait-elle l'adaptabilité ? Quel est le rapport coût/bénéfice des variétés hybrides par rapport aux variétés populations et lignées ? Le coût des biotechnologies dans la recherche est-il cohérent avec leur utilité agronomique et sociale ? Des programmes de sélection participative, insérés dans des réseaux européens, s'emparent de ces questions, comme le programme Brassica de l'INRAE de Rennes (Chable et al., 2020).

En résumé, les concepts agricoles et les systèmes de production évoluent, grâce à la prise en compte croissante des principes agro-écologiques et sanitaires. Parallèlement, de nouveaux acteurs (villes, régions, etc.) s'emparent des questions liées à l'Alimentation dans les territoires, telles que les systèmes alimentaires localisés, la souveraineté et la sécurité alimentaires, la nutrition et la santé, qui doivent être prises en considération dans les systèmes de semences et les stratégies de sélection. Un certain nombre de priorités peuvent être définies pour relever ces défis agricoles et alimentaires mondiaux :

- Maintenir l'accès des agriculteurs et des chercheurs à la variabilité génétique et à la biodiversité dans un système d'échange mondialement reconnu avec un partage équitable des avantages,
- Renforcer la durabilité éco-systémique de la production végétale, y compris le développement de cultures où les variétés et les systèmes alimentaires sont raisonnés de manière intégrée,
- Encourager les systèmes de production qui favorisent l'innovation en amont et en aval et récompensent le progrès génétique selon de nouveaux critères de sélection, y compris la durabilité.

CONCLUSION

Depuis les années 1960, le contexte de la sélection des espèces légumières s'est profondément modifié : la production légumière s'est spécialisée et a progressé technologiquement ; elle s'est désaisonnalisée et s'est développée sur de nouveaux territoires en France métropolitaine et outre-mer, ainsi que sur le pourtour méditerranéen. L'intensification des cultures a entraîné un fort développement des contraintes sanitaires. En réponse à ces changements de contexte, l'organisation spécifique et la recherche sur les variétés, la technologie des semences et les systèmes de production ont évolué. Des changements d'échelle sont intervenus : les équipes de sélection ont acquis des outils biotechnologiques coûteux, dont la nécessaire rentabilité a conduit les entreprises de sélection i) à renforcer leur collaboration avec la recherche publique, ii) à se développer par l'achat ou la fusion avec des concurrents, et iii) à internationaliser leurs activités commerciales.

Grâce à une recherche publique performante et à une organisation nationale forte de la filière légumes, l'Etat français a créé les conditions qui ont permis le développement d'une industrie semencière française dynamique et conquérante. La zone d'influence des acteurs économiques de la filière légumes s'est étendue au monde entier. L'Asie, qui possède la plus grande surface de culture de légumes au monde, et l'Afrique, dont le marché intérieur n'a pas encore été pleinement exploré, sont les prochains partenaires clés en matière de recherche et de formation, ainsi que de développement industriel et commercial. Ce partenariat potentiel a fait l'objet d'une réflexion lors du 31e Congrès international d'horticulture à Angers, (www.ihc2022.org), en abordant les défis majeurs de la qualité des cultures vivrières, de la sécurité nutritionnelle et de la santé pour les représentants mondiaux du secteur des légumes. Jusqu'à présent, la sélection n'a que partiellement répondu à ces défis dans un contexte d'intensification de la production qui a atteint ses limites. Les considérations socioculturelles doivent désormais être associées aux défis environnementaux (changement climatique et perte de biodiversité) pour développer rapidement des systèmes de production agro-écologiques et des semences et variétés «alternatives» adaptées à des systèmes alimentaires résilients et durables.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient L.M. Broucqsault, M. Causse, C. Crosnier Mangeat, M. Pitrat et J.N. Plages pour leur examen critique et leur contribution à ce document.

References

Brand, R., and Audergon, J.M. (2013). La sélection des variétés d'espèces légumières en France et en Europe du Nord entre 1960 et 2012. Le Sélectionneur Français 64, 71–100.

Chable, V., Nuijten, E., Costanzo, A., Goldringer, I., Bocci, R., Oehen, B., Rey, F., Fasoula, D., Feher, J., Keskitalo, M., Koller, B., Omirou, M., Mendes-Moreira, P., van Frank, G., Naino Jika, A.K., Thomas, M., and Rossi, A. (2020). Embedding cultivated diversity in society for agro-ecological transition. Sustainability 12 (3), 784 https://doi.org/10.3390/su12030784.

Daunay, M.-C., Boccon-Gibod, J., Cadic, A., and Mazier, M. (2007). Biotechnology and horticulture. Chronica Horticulturae 47 (1), 6–16.

Daunay, M.C. (2009). Cultivars hybrides chez les espèces légumières. Le Sélectionneur Français 60, 73–90.

Daunay, M.C., Allender, C., Astley, D., Bas, N., van Dooijeweert, W., van Treuren, R., Branca, F., Díez, M.J., Geoffriau, E., Keller, E.R.J., Kotlińska, T., Smékalová, K., Engels, J., and Maggioni, L. (2011). More efficient conservation and use of vegetable genetic resources in Europe: ECPGR achievements and perspectives. Acta Horticulturae 918, 405–417. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.918.52.

Doré, C., and Varoquaux, F. (2006). Histoire et Amélioration de Cinquante Plantes Cultivées (Editions INRAE), 812 p.

GNIS. (2016). La Filière des Semences Potagères (Editions GNIS), pp.48. https://www.gnis.fr/publication/la-filiere-des-semences-potageres/.

Lor, D. (2015). Les stratégies d'amélioration génétique de la résistance aux maladies avec comme exemple les espèces légumières. In Les Rencontres du Végétal (Angers, France). http://rencontres-du-vegetal.agrocampus-ouest.fr/infoglueDeliverLive/digitalAssets/75632_Denis_LOR.zip.

Messiaen, C.M., Cohat, J., Leroux, J.P., Pichon, M., and Beyries, A. (1993). Les Allium Alimentaires Reproduits par voie Végétative (Editions INRAE), 230 p.

Navez, B., Sarazin, M., Causse, M., and Granell, A. (2016). Recherche européenne sur les variétés de tomate traditionnelles. Infos CTIFL 320, 32–35 https://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=4234.

Oberti, M.A., Chailan, C., and Brugière, F. (2020). Panorama of French horticulture. Chronica Horticulturae 60 (1), 28–34.

Pitrat M. (2002). Un regard sur 40 ans d'amélioration des plantes maraîchères. Le Sélectionneur Français 53,149–155.

Pitrat, M., and Foury, C. (2003). Histoire de Légumes, des Origines à l'Orée du XXIe Siècle (Editions INRAE), 409 p.

Pitrat, M., and Audergon, J.M. (2015). Evolution of diversity of fruits and vegetables crops. Acta Horticulturae 1099, 567–576 https://doi.org.10.17660/ActaHortic.2015.1099.69.

Torres, M., and Brand, R. (2015). Le greffage des cultures légumières en France et dans le monde: état des lieux et programmes de recherche. Infos CTIFL 313, 52–60.

Torres, M., Brand, R., Jouy, C., Pitrat, M., and Causse, M. (2018). Les résistances variétales en cultures légumières. In Le Point Sur – Méthodes Alternatives (Editions CTIFL), N°13, 10 p.

À PROPOS DES AUTEURS

Richard Brand est un spécialiste de l'amélioration génétique des espèces légumières et de l'homologation des variétés. Il est retraité de l'INRAE Avignon, France. *E-mail : richard.brand@wanadoo.fr*

Dominique Daviot est secrétaire général de la section légumes et plantes ornementales du Groupement Interprofessionnel des Semences et Plants (SEMAE, ex-GNIS, www.semae.fr) qui facilite les discussions, les échanges et les prises de décision entre les acteurs de la filière. Il assure également la promotion du secteur semencier français en France et à l'étranger. *E-mail : dominique.daviot@semae.fr*

Marie-Christine Daunay est scientifique à l'INRAE, Unité de Génétique et de Sélection des Fruits et Légumes, Montfavet, Sud de la France. Elle est spécialisée dans la génétique de l'aubergine et la gestion des ressources génétiques des solanacées. *E-mail : marie-christine.brand-daunay@INRAE.fr*

Rémi Kahane est le correspondant de la filière horticulture au CIRAD, France, depuis 2002. Il a été sélectionneur d'oignons pour la coopérative agricole COOPD'OR pendant 15 ans. Il est vice-président d'IHC2022, président du comité international. *E-mail : remi.kahane@cirad.fr*

Emmanuelle Laurent est responsable de la section légumes de la Fédération Nationale des Producteurs-Multiplicateurs de Semences (FNAMS, www.fnams.fr), France. Sa mission est de développer des références agronomiques et économiques dans les cultures de semences, de promouvoir la production française de semences et de défendre les intérêts des agriculteurs multiplicateurs de semences. *E-mail : emmanuelle.laurent@fnams.fr*

La carotte, une production légumière majeure en France

Valérie Le Clerc, Mathilde Briard, Valentine Cottet, Ségolène Dandin et Emmanuel Geoffriau.

À la question «Qu'est-ce que la vie ?», le romancier russe Anton Tchekhov aurait répondu : «C'est comme si on demandait ce qu'est une carotte. Une carotte est une carotte, et il n'y a rien de plus à savoir».
Ceux d'entre nous qui étudient les carottes ne sont pas d'accord. Il y a en fait beaucoup à dire, et encore plus à comprendre !

UNE PRODUCTION LÉGUMIÈRE TRÈS DIVERSIFIÉE EN FRANCE

La France est le troisième producteur européen de légumes après l'Espagne et l'Italie, avec 5,6 millions de tonnes.

Pour la production de pommes de terre, la France est la deuxième derrière l'Allemagne avec 6,9 millions de tonnes. La production de légumes en France comprend 30 800 producteurs et plus de 202 000 hectares. Environ 39% de la production est destinée à la transformation. La production biologique est en augmentation avec environ 25% des producteurs de légumes sur 10% de la surface de production de légumes. La production de légumes pour le marché du frais est basée sur les types de producteurs suivants : les exploitations mixtes de plein champ dont l'activité principale est la culture de céréales, les exploitations spécialisées de plein champ avec quelques cultures légumières, les exploitations légumières spécialisées diversifiées et les serristes spécialisés. Les exploitations maraîchères spécialisées produisent d'une à quatre cultures maraîchères sur la base d'un même système de culture. Les exploitations maraîchères diversifiées françaises peuvent produire jusqu'à 18 cultures différentes, sans compter le nombre élevé de variétés pour chaque culture. Les exploitations maraîchères spécialisées représentent environ 10 % des exploitations maraîchères.

La surface moyenne par exploitant en production légumière est de 6 ha que ce soit pour les exploitations spécialisées ou mixtes, de moins de 2 ha en zone périurbaine et en commercialisation directe, à plus de 50 ha pour les productions légumières de plein champ. Certaines régions sont très spécialisées et peuvent être considérées comme des bassins de production. C'est le cas de la Bretagne pour l'artichaut et le chou-fleur, du nord de la France pour l'endive, du nord-ouest de la France pour l'échalote, de la Bourgogne pour l'oignon ou encore de Nantes pour la mâche.

Parmi les légumes produits en France, la carotte a une importance particulière car elle est le deuxième légume le plus consommé en France. Environ 9 kg/an/habitant sont consommés (après la tomate, 14 kg). Cette culture est également le deuxième légume produit en France (9 % du volume de légumes frais, alors que la tomate représente 12 % de ce volume de production).

CHIFFRES CLÉS DE LA PRODUCTION DE CAROTTE EN FRANCE

La France est le cinquième pays producteur de carottes, juste après le Royaume-Uni, la Pologne, l'Allemagne et les Pays-Bas, avec 532 515 tonnes sur 12 501 ha (FranceAgriMer, 2020). La France est également le premier producteur de semences de carottes en Europe et le deuxième au niveau mondial, après les États-Unis.

En France, les carottes sont produites pour deux types de marchés : le marché du frais (57%) et celui de la transformation (43%). La principale région française de production pour le marché du frais est la Nouvelle Aquitaine, dans le sud-ouest de la France, avec environ 3 900 ha, ce qui représente plus de 46 % de la surface de production. Vient ensuite la Normandie, au nord-ouest de la France, avec une superficie de 1 600 ha, soit 19% de la surface de production nationale. Les Hauts-de-France (nord de la France) sont la principale région de production de carottes pour le marché de la transformation avec 55% des surfaces, soit plus de 2 300 ha de carottes.

« Carottes de France » est l'association nationale des producteurs, qui fédère et défend les intérêts de plus de 250 producteurs et 9 organisations professionnelles, représentant 60% en volume de la production française.

La plupart des carottes sont commercialisées sur les marchés de gros et dans les chaînes de supermarchés, sous différents emballages (*Figures 1 et 2*). La carotte bénéficie d'une image liée à la santé et d'un taux de pénétration élevé (88 %) dans les ménages. La carotte est d'ailleurs le légume issu de l'agriculture biologique le plus acheté par les ménages français. Outre la carotte orange, les carottes de couleur sont couramment présentes en tant que marché de niche *(Figure 3)*.

Figure 1
Carottes des sables traditionnelles dans des caisses en bois *(à gauche)* et carottes lavées dans des sacs en plastique de 10 kg (à droite) sur le marché de gros d'Angers. ©Emmanuel Geoffriau

Figure 2
Carottes jeunes, juteuses et sucrées en bottes, surtout en début de saison. ©Emmanuel Geoffriau

Figure 3
La carotte colorée est un moyen de diversifier la consommation de carottes.©Emmanuel Geoffriau

HISTOIRE DE LA CULTURE DE LA CAROTTE EN FRANCE

Les carottes
sont apparues en France dès le 11e siècle, après l'Espagne et l'Italie, mais avant l'Allemagne, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

Gibault (1912) cite le « Ménagier de Paris » du 14e siècle dans lequel les « Garroites » sont des racines rouges vendues en bottes sur les marchés. Chaque botte contenait une racine blanche. De La Quintinie rapporte en 1690, dans les « Instructions pour les jardins fruitiers et potagers » que « les carottes sont une espèce de racines, les unes blanches, les autres jaunes ». Du 14e au 17e siècle, les carottes consommées en Europe sont violettes, jaunes ou blanches, avec une prédominance variable selon les pays. La carotte blanche est particulièrement utilisée en France aux 17e et 18e siècles. Ce n'est qu'à la fin du 18e siècle que la carotte orange est apparue en France. L'orange provient probablement des quatre types de carottes « Horn orange » apparues aux Pays-Bas au 17e siècle : la Colmar serait issue de la « Long Horn », la Chantenay et la Nantes de la « Half-long Horn », et la Marché de Paris de la « Early short Horn ».

Si l'on considère la diversité et le nombre de variétés locales de carotte, la France peut être considérée comme un centre de diversité secondaire pour la carotte cultivée *(Figure 4)*. En fait, les maraîchers périurbains, en particulier ceux des ceintures vertes des grandes villes comme Paris et Nantes, peuvent être considérés comme les premiers sélectionneurs de carotte. Ils ont cherché à s'adapter aux conditions locales de production et de commercialisation. La « Carotte rouge demi-longue nantaise » est apparue au milieu du 20e siècle. Depuis, le type Nantes, caractérisé par une racine cylindrique, est devenu le principal type de carotte cultivé dans le monde. De même, le type Chantenay, du nom d'une zone de culture périurbaine, aujourd'hui banlieue de Nantes, est un type majeur en Europe et aux États-Unis pour les carottes de conservation et de transformation. L'amélioration du type Nantes et des variétés hybrides ultérieures s'est traduite par une partie du xylème ou de la carotte plus tendre, réduite et de couleur orange *(Figure 5)*.

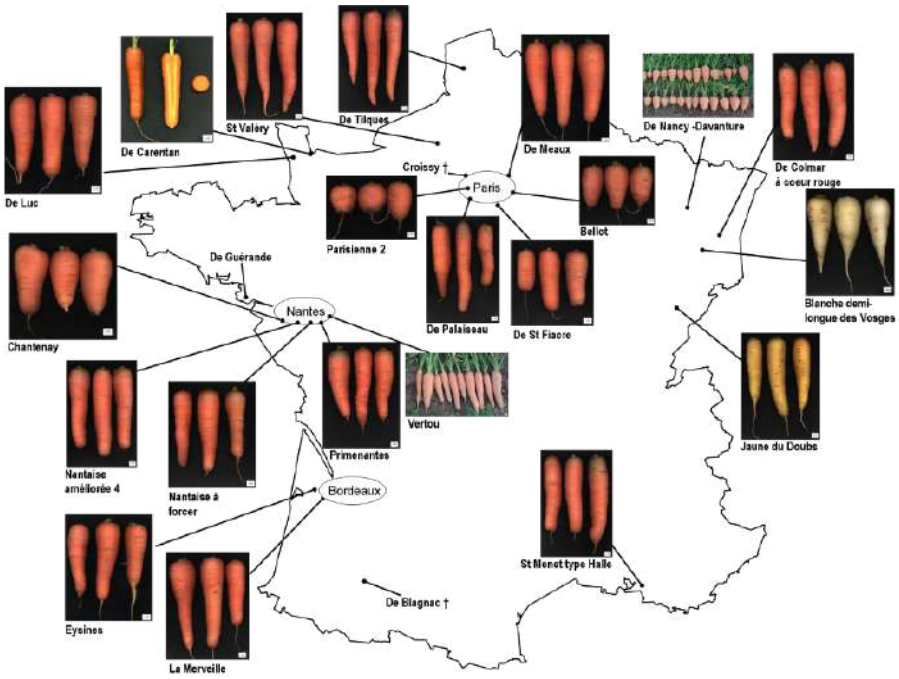


Figure 4
Distribution des variétés populations de carottes françaises.
Photos et élaboration : Emmanuel Geoffriau.

En 1963, l'Institut français de la recherche agronomique (INRAE) a introduit deux systèmes de stérilité mâle nucléo-cytoplasmique d'origine américaine, les anthères brunes et les étamines pétaloïdes, dans le type nantais. Les lignées correspondantes ont été distribuées au secteur privé. En 1977, 'Nandor' de Clause a été la première variété hybride de carotte en Europe. Cela a entraîné une révolution dans la production de carotte en France, avec une amélioration et un équilibre entre l'homogénéité, le rendement, l'éclatement des racines et l'aptitude à la récolte mécanisée. De plus, la qualité des semences hybrides a ouvert la voie au semis de précision et à l'abandon de l'éclaircissage manuel pratiqué jusqu'alors. D'autres variétés hybrides développées par les semenciers Clause et Vilmorin, mais aussi Bejo, Nickerson-Zwaan, Syngenta et Nunhems, ont été largement cultivées en France. Comme les producteurs optimisent leurs systèmes de culture au fil des années en fonction de la variété, le renouvellement des variétés est lent et certaines variétés enregistrées dans les années 90 sont encore cultivées de manière significative.

Figure 5
Progrès de la selection dans le type Nantais, d'un coeur large et clair (gauche) à un Coeur étroit et concolore (droite).
©Emmanuel Geoffriau

La marge financière de l'exploitation étant généralement limitée, le rendement est une caractéristique de sélection importante. Les variétés hybrides augmentent le rendement commercial en réduisant les déchets de triage. La résistance à la brûlure des feuilles (principalement *Alternaria dauci*), en relation avec la capacité de récolte mécanisée par arrachage, est une caractéristique essentielle de la variété. La résistance au mildiou, à la cercosporiose et au cavity spot sont les autres caractéristiques liées aux maladies qui sont importantes pour les producteurs français. La précocité, la résistance aux basses températures et la résistance à la montaison sont des caractéristiques de sélection qui dépendent de la saison et de la zone de culture en France. Les caractéristiques de qualité nutritionnelle et sensorielle sont demandées par les consommateurs, mais constituent une tâche complexe pour la sélection.

GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DE LA CAROTTE EN FRANCE

Comme pour les autres cultures allogames, les avantages spectaculaires des variétés hybrides et le besoin de produits homogènes, faciles à récolter et à préparer, ainsi que d'une bonne présentation en rayon, ont conduit à l'abandon rapide des variétés locales à fécondation libre, qui sont devenues des ressources génétiques. Afin de préserver le patrimoine génétique français et d'anticiper les nouveaux besoins des sélectionneurs ou des producteurs, des initiatives de préservation des ressources génétiques ont été prises en France à travers la mise en place de réseaux pour les espèces végétales et animales ainsi que pour les micro-organismes. Le réseau « Carotte et autres *Daucus* » a été créé en 1996, et a impliqué des instituts de recherche, des semenciers, des agences expérimentales et techniques ainsi que des jardins botaniques, tous ayant une connaissance de l'espèce carotte. L'objectif de ce réseau est d'inventorier, de collecter, de caractériser et d'évaluer les accessions de carotte afin de régénérer, de stocker et de distribuer des accessions de carotte authentifiées dans la collection nationale, correspondant au patrimoine français. D'autres accessions de carotte cultivées ou sauvages sont également conservées et étudiées à des fins de sélection ou de recherche. En relation avec ce réseau, des recherches sont menées sur la diversité génétique afin de comprendre la diversité, l'organisation et l'évolution, et d'aider à gérer les ressources génétiques de la carotte. Les collections de carotte cultivée et sauvage sont conservées par le centre de ressources biologiques « Carotte et autres Apiacées légumières » (CF Chronica Horticulturae 61 (2), 21–36 on «Conservation of horticultural genetic resources in France») à Angers dans le cadre de la coordination nationale des ressources phytogénétiques et du programme européen ECPGR https://www.ecpgr.cgiar.org/working-groups/umbellifer-crops. La collection patrimoniale nationale de carotts est accessible à l'adresse https://crbcarotte-cn.agrocampus-ouest.fr/ et des informations peuvent être demandées à l'adresse crbcarotte@agrocampus-ouest.fr.

LA FRANCE, SOURCE DE DIVERSITÉ DE LA CAROTTE SAUVAGE

Les espèces sauvages apparentées à la carotte (*Daucus carota L.*) présentent un intérêt pour les études de génétique évolutive et l'amélioration de la carotte pour la résistance aux nématodes et la tolérance aux stress abiotiques.

Plusieurs taxons ont été identifiés et collectés en France ces dernières années. La sous-espèce *gadecaei* est endémique et protégée, elle existe principalement en Bretagne et dans la région basque. La sous-espèce *maximus* est présente sur la frange méditerranéenne. Les plantes du sous-groupe *gummifer* sont généralement de distribution méditerranéenne. La sous-espèce *commutatus* n'existe qu'en Corse (Calvi, Bonifacio, îles Lavezzi), ainsi que la sous-espèce *drepanensis* (Ajaccio, Ile Rousse, Bonifacio). La sous-espèce *gummifer* var. *fontanesii* est présente sur le pourtour méditerranéen et dans plusieurs localités de Corse. En revanche, le taxon var. *gummifer* est très rare dans le secteur méditerranéen, et présent sur les côtes atlantiques et septentrionales *(Figure 6)*. La sous-espèce *hispanicus* est distribuée tout le long de la côte méditerranéenne et elle est bien présente en Corse, surtout dans le secteur de Bonifacio. Une très grande diversité génétique peut être observée dans la zone méditerranéenne, comparée au reste du pays.

Figure 6
Populations de *Daucus carota* L. var. *carota* dans un verger biologique *(à gauche)*, et *Daucus carota* L. var. *gummifer* sur la côte de la Manche *(à droite)*. ©Emmanuel Geoffriau

SYSTÈMES DE CULTURE DE LA CAROTTE ET STOCKAGE DES RACINES

Le calendrier de production de la carotte en France s'étale sur la quasi-totalité de l'année. La fenêtre de production précoce est suivie par la production de carottes de saison et de conservation. Les carottes françaises sont donc disponibles tout au long de l'année.

Les carottes précoces sont semées entre novembre et mars pour être récoltées d'avril à juillet *(Figure 7)*. Ces carottes destinées au marché du frais peuvent être présentées en bottes ou en sacs. Cette production nécessite un travail du sol minutieux pour garantir la production de racines répondant aux critères de commercialisation. Les premiers semis sont recouverts d'une bâche et un désherbage post-semis doit être effectué pour éviter de salir la parcelle sous la bâche. Les carottes vendues en bottes nécessitent un feuillage indemne de maladies pour assurer une bonne présentation sur les étals.

Les carottes de saison sont semées de mai à juillet et récoltées de fin août à novembre *(Figure 8)*. Lorsqu'une première culture de carotte a été effectuée sur une parcelle, et si la période de récolte le permet, une deuxième culture peut être réimplantée avec des carottes de saison. La gestion des mauvaises herbes et des maladies dans la première culture doit être optimale pour garantir une deuxième culture saine.

La récolte mécanisée est réalisée en soulevant les fanes des carottes *(Figure 9)*.

Enfin, les carottes de conservation sont récoltées de fin novembre à avril, en fonction des conditions météorologiques. La méthode de stockage des racines est principalement l'hivernage dans le champ, mais le stockage à froid après la récolte est en augmentation. Traditionnellement, les carottes sont recouvertes de paille, ou déracinées, puis retournées et laissées dans le champ avec de la terre en guise d'isolation. Le choix de la méthode se fait en fonction du type de sol et des conditions climatiques. Les carottes peuvent également être récoltées et stockées dans des chambres froides tout au long de l'hiver, pour être vendues jusqu'au mois de juillet de l'année suivante. Cette technique plus coûteuse permet de préserver la qualité intrinsèque du produit, de limiter les pertes et la dégradation du sol, et d'allonger la période de commercialisation des carottes, notamment en avril et mai. Cette technique spécifique dépend de plusieurs facteurs. En effet, toutes les variétés n'ont pas la même réaction au froid. Le stade de développement des racines et la méthode de récolte influencent l'efficacité du stockage, et les conditions climatiques au moment de la récolte peuvent modifier le comportement de conservation des racines en chambre froide. Enfin, la vitesse et l'efficacité du refroidissement et les conditions de stockage sont des facteurs à prendre en compte.

Figure 7
Production de carottes précoces d'hiver sous tunnel dans une ferme biologique. ©Emmanuel Geoffriau

Figure 8
Champ de carottes dans le sud-ouest de la France sur des sols sablonneux sombres avec un système d'irrigation à pivot central. ©Ségolène Dandin

Figure 9
Récolte de carottes par préhension des fanes.
©Emmanuel Geoffriau

GESTION DES PRINCIPAUX RAVAGEURS ET MALADIES DE LA CAROTTE

Comme pour de nombreuses culutures,

la production de carotte en France est confrontée à la restriction des pesticides de synthèse imposée par des préoccupations sanitaires, environnementales et sociétales.

Le développement de systèmes plus durables et de méthodes alternatives de protection des cultures est une priorité.

Les principaux ravageurs de la carotte en France sont les nématodes et la mouche de la carotte, responsables d'importants dégâts sur les racines. Parmi les nématodes, *Pratylenchus* spp. est principalement observé dans le sud-ouest de la France, tandis qu'*Heterodera carotae* est plus important en Normandie. La mouche de la carotte (*Psila rosae*) est présente dans toutes les zones de production de carotte.

La carotte est également affectée par un large éventail de pathogènes. Parmi eux, *Alternaria dauci* (Ad) est responsable de la principale maladie foliaire, tandis que *Pythium* spp. est le principal agent responsable des maladies racinaires. La brûlure des feuilles par *Alternaria* est principalement un problème pour les producteurs de carotte du sud-ouest de la France. Parmi les *Pythium* spp. responsables de la tache cavitaire, le plus fréquent et le plus agressif est *Pythium sulcatum* en Nouvelle-Aquitaine, dans le sud-ouest, tandis que *P. violae* est principalement présent en Normandie.

Pour lutter contre les nématodes, les fumigants ayant été interdits en France en 2018, d'autres moyens de protection comme la désinfection des sols par vapeur ou solarisation ont été étudiés, mais restent difficiles à mettre en œuvre et moins efficaces que les fumigants. Concernant la lutte contre la mouche de la carotte, de nombreux facteurs influencent l'arrivée et le développement de *Psila rosae* comme la rotation des cultures, le paysage, la température et le vent. Ces facteurs varient dans le temps et dans l'espace, ce qui rend les risques liés à la mouche de la carotte complexes pour une parcelle donnée. Les pièges chromatiques restent un outil d'aide à la décision précieux et largement utilisé. Par conséquent, la recherche de substances ou d'organismes permettant une régulation naturelle (biocontrôle) ainsi que la recherche de résistances variétales restent essentielles pour limiter l'utilisation d'insecticides chimiques. Traditionnellement, pour lutter contre la brûlure des feuilles de la carotte, les producteurs s'appuient sur un modèle de prévisions des risques pour programmer les pulvérisations de fongicides synthétiques en combinaison avec des variétés partiellement résistantes *(Figure 10)*. Toutefois, pour réduire davantage l'utilisation des pesticides, des changements au niveau du système de culture sont nécessaires. Le projet européen H2020 OPTIMA (Optimised PesT Integrated MAnagement to precisely detect and control plant diseases in perennial crops and open-field vegetables) vise à optimiser les modèles de prévision des maladies déjà existants en utilisant des algorithmes agro-climatiques et biologiques, des témoignages d'utilisateurs et des méthodes géostatistiques, pour le développement d'un système d'aide à la décision (DSS).

Associés à une formation appropriée et à des pratiques innovantes telles que les pulvérisateurs « intelligents » pour les applications de pesticides, qui augmentent l'efficacité biologique et technique grâce à des applications spécifiques et précises, ces nouveaux outils devraient contribuer à atteindre l'objectif d'une faible incidence sur l'environnement et la santé. Les *Pythium* spp. sont principalement contrôlés à l'aide de fongicides et, jusqu'à présent, aucun système de prédiction du développement de la maladie n'est disponible.

Parmi les alternatives aux pesticides de synthèse, l'utilisation de produits de biocontrôle (bioPPP) est une solution respectueuse de l'environnement. Cependant, très peu de BioPPP commerciaux sont actuellement disponibles en France pour lutter contre les ravageurs et les maladies de la carotte. Certains projets, qui font partie du programme national Ecophyto-PIC visant à réduire et à améliorer l'utilisation des produits phytochimiques en France, ont l'intention de les identifier, comme OPTIMA (http://optima-h2020.eu/), qui vise à offrir une protection efficace contre l'alternariose en combinant le biocontrôle et la résistance des plantes, ou BIODERA (https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/biodera.pdf), qui vise à combiner les engrais avec des solutions de biocontrôle pour lutter contre les nématodes phytoparasites. Des solutions commerciales sont déjà disponibles pour lutter contre *Pythium* spp. avec *Trichoderma atroviride* comme champignon antagoniste efficace. Cependant, il est encore nécessaire de préciser les modalités d'utilisation. Des solutions originales émergent également, telles qu'une variété de carotte sélectionnée à partir de carotte sauvage utilisée pour piéger *Heterodera carotae* et, par conséquent, contrôler le développement des nématodes.

Quelles que soient les méthodes alternatives, les producteurs doivent les combiner pour obtenir un niveau de protection similaire à celui obtenu avec les pesticides chimiques. En outre, la compatibilité entre les leviers visant des objectifs différents (ravageurs ou maladies) doit être soigneusement examinée, de même que leur impact sur la qualité du produit final. Pour cela, une approche systémique est essentielle. Enfin, toute nouvelle solution doit être techniquement et économiquement éprouvée pour être acceptée par les producteurs et largement diffusée. À cet égard, de nouveaux programmes de recherche s'appuieront sur la coconstruction de systèmes maraîchers agroécologiques avec les producteurs, les sélectionneurs et les consommateurs, comme le projet AlterCarot (https://www.picleg.fr/index.php/Projets/Les-projets-en-cours/AlterCarot) qui se concentre sur les pathogènes transmis par le sol, les nématodes et la gestion des mauvaises herbes.

Figure 10
Culture partiellement résistante *(à gauche)* et sensible *(à droite)* à la brûlure des feuilles.
©Emmanuel Geoffriau

QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE ET PRÉFÉRENCES DES CONSOMMATEURS FRANÇAIS

La qualité organoleptique est étudiée à l'aide de méthodologies d'analyse sensorielle. La méthode du profil sensoriel est basée sur l'évaluation de l'intensité de différents descripteurs par un groupe de panélistes formés dont les performances sont contrôlées. Les attributs sensoriels les plus appropriés pour décrire la qualité des carottes sont l'apparence, la texture, le goût, l'odeur et la saveur. Toutefois, la manière dont les carottes sont dégustées a un impact sur la perception humaine. Une présentation râpée *(Figure 11)* permet de mieux différencier les saveurs et les arômes, tandis qu'une présentation en tranches ou en bâtonnets fournit davantage d'informations sur la texture du produit. Les principaux attributs discriminants sont la jutosité, la douceur, la saveur globale, l'amertume et la saveur de térébenthine *(Figure 12)*.

Les principaux facteurs affectant la qualité sensorielle des carottes sont la génétique, d'une part, et les conditions de culture, d'autre part, sans parler des nombreuses interactions entre le génotype et l'environnement. Par conséquent, le choix du matériel végétal ne garantit pas la qualité du produit final.

Différents niveaux de plasticité pour la qualité sensorielle ont été observés entre les variétés en fonction du système de culture. Les attentes et les préférences des consommateurs français ont également été étudiées. Des tests hédoniques ont été réalisés auprès de 300 consommateurs dans trois villes (Paris, Angers et Avignon). La création d'une carte des préférences a permis de mettre en évidence les moteurs des préférences. Ainsi, la carotte idéale doit combiner jutosité, sucre et intensité aromatique.

À l'inverse, les carottes amères et sans goût ne sont pas appréciées. Néanmoins, il existe des spécificités selon les groupes de population. Les Parisiens sont moins exigeants que les provinciaux. Les jeunes (18-25 ans) donnent des notes plus faibles que les plus de 65 ans et sont plus exigeants sur la qualité sensorielle de la carotte.

En France, trois types de consommateurs aux attentes spécifiques ont été identifiés. Près de 20% des personnes interrogées recherchent un produit de meilleure qualité, tandis que pour 33% des consommateurs, la carotte est un aliment de base et ils n'ont pas d'attentes spécifiques. Enfin, 48% des consommateurs français sont satisfaits des produits actuels mais sont potentiellement intéressés par une carotte qui se démarquerait en termes de qualité.

Figure 11
Évaluation sensorielle de la carotte sur la base des racines râpées.
©Valentine Cottet

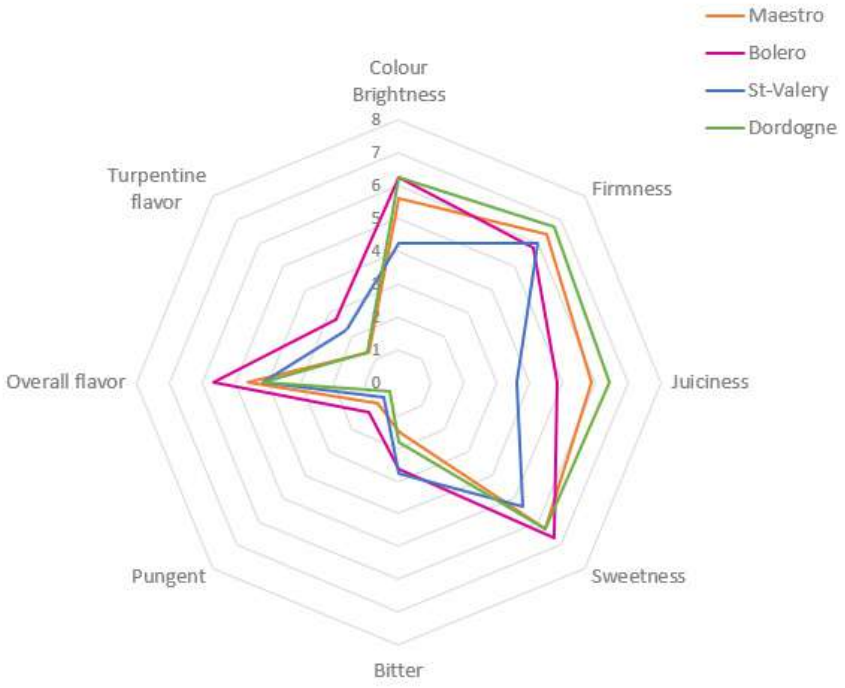


Figure 12
Profil sensoriel de trois variétés hybrides couramment cultivées et d'une variété ancienne. (St Valery).
(Élaboration Valentine Cottet)

CONCLUSION

Le statut de la carotte est un exemple intéressant parmi les cultures légumières en France, car le secteur est fortement structuré, soutenu par des entités publiques et privées, et est prêt à relever plusieurs défis. Le secteur privé et la recherche publique mènent des recherches dans le cadre de programmes collaboratifs afin de proposer des variétés avec différents niveaux de plasticité adaptées à des conditions spécifiques et présentant davantage de caractéristiques de résistance et de qualité, d'évaluer les combinaisons de méthodes alternatives pour la protection des cultures et d'identifier les moyens de segmenter le marché, le tout afin d'apporter plus de valeur aux producteurs et à la filière.

Une approche systémique est essentielle pour répondre aux défis actuels et futurs, et est de plus en plus intégrée par les parties prenantes.

RÉFÉRENCES

Briard, M., Le Clerc, V., Peltier, D., Suel, A., Granger, J., Dubois, C., and Geoffriau, E. (2007). Genetic resources management with networks: the example of the network "Carrot and other Daucus". Acta Hortic. 760, 99–104. *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.760.11*

Dily, F., Villeneuve, F., and Boucaud, J. (1994). Quality and maturity of carrot root. Biochemical composition influenced by field storage and cold moisture conditions. Acta Hortic. 354, 187–200. *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.354.20*

du Toit, L.J., Le Clerc, V., and Briard, M. (2019). Genetics and genomics of carrot biotic stress. In The Carrot Genome (Cham: Springer), p.317–362.

Geoffriau, E., Reduron, J.-P., Chaput-Bardy, A., Maghraoui, M., Jourdan, M., Huet, S., Dubois-Laurent, C., Le Clerc, V., Peltier, D., and Briard, M. (2017). Genetic diversity and taxonomic aspects of wild carrot in France. Acta Hortic. 1153, 259–264 *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1153.38*

Geoffriau, E. (2019). Advances in carrot breeding. In Achieving Sustainable Cultivation of Vegetables, G. Hochmuth, ed. (Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing), p.397–436.

Geoffriau, E., and Simon, P.W., eds. (2020). Carrots and Related Apiaceae Crops, 2nd edn (CABI). pp.346.

Le Clerc, V., and Briard, M. (2003). The use of molecular tools for a better management of the French Daucus genetic resources network. Acta Hortic. 598, 193–197 *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.598.28*

Reduron, J.-P., Boulanger, A., Joyeux, C., Dubois-Laurent, C., Huet, S., and Geoffriau, E. (2019). Phytochemistry of Daucus carota wild populations in Corsica (France). Acta Hortic. 1264, 157–164. *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1264.19*

Navez, B., Cottet, V., Villeneuve, F., Jost, M., Latour, F., Huet, S., and Geoffriau, E. (2015). French consumer preferences reveal a potential for segmentation in carrots. Acta Hortic. 1091, 45–51. *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1091.4*

Navez B., Cottet, V., Villeneuve, F., Jost, M., Latour, F., Huet, S., and Geoffriau, E. (2017). Carrot organoleptic quality as related to cultivar and production area. Acta Hortic. 1153, 125–132. *https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1153.18*

Villeneuve, F. (2014). La Carotte, Maladies, Ravageurs et Protection. Hortipratic (Ctifl), pp.237.

Simon, P.W., Geoffriau, E., Ellison, S., and Iorizzo, M. (2019). Carrot carotenoid genetics and genomics. In The Carrot Genome, P. Simon, M. Iorizzo, D. Grzebelus, and R. Baranski, eds. (Springer Nature Switzerland AG), p.247–260.

À PROPOS DES AUTEURS

Valérie Le Clerc est enseignant chercheur à l'Institut Agro, département des Sciences du végétal pour l'agriculture et l'horticulture à Angers, France. Ses recherches portent sur la résistance génétique des plantes aux maladies, en particulier sur la résistance de la carotte à *Alternaria dauci.*
E-mail : valerie.leclerc@institut-agro.fr

Mathilde Briard est professeure à l'Institut Agro, département des Sciences du végétal pour l'agriculture et l'horticulture, et directrice adjointe de l'Institut de recherche en horticulture et semences (IRHS), à Angers, en France. Elle co-dirige l'équipe de recherche QuaRVeg (Qualité et résistance aux bioagresseurs des espèces légumières).
E-mail : mathilde.briard@institut-agro.fr

Valentine Cottet est ingénieur de recherche au CTIFL, France, en charge des études sensorielles sur les fruits et légumes. Ses travaux portent sur la perception sensorielle et sur les attentes et préférences des consommateurs.
E-mail : valentine.cottet@ctifl.fr

Ségolène Dandin est ingénieur de recherche au CTIFL. Elle était en charge des filières carotte, céleri et navet, et ses principaux travaux portaient sur les ravageurs telluriques de la carotte jusqu'en 2022.
E-mail : segolene.dandin@ctifl.fr

Emmanuel Geoffriau est professeur en diversité génétique et agronomie des cultures légumières à l'Institut Agro et chercheur à l'Institut de recherche de l'horticulture et des semences, Angers, France. Ses recherches portent sur la diversité génétique, la gestion des ressources génétiques et le déterminisme génétique combiné à l'adaptation à l'environnement des caractères de qualité. Il est responsable de la collection française de ressources génétiques de carotte. Il est représentant français au conseil de l'ISHS et président du groupe de travail de l'ISHS sur la carotte et les autres apiacées. Il a été vice-président de l'IHC2022 et président du comité scientifique.
E-mail : emmanuel.Geoffriau@institut-agro.fr

Conservation des ressources génétiques horticoles en France

Michel Roux-Cuvelier, Michel Grisoni, Arnaud Bellec, Emmanuel Bloquel, Carine Charron, Magalie Delalande, Marine Delmas, Audrey Didier, Charles-Eric Durel, Charles-Henry Duval, Florence Esnault, Laurence Feugey, Emmanuel Geoffriau, Bouchaïb Khadari, Sandra Lepers-Andrzejewski, François Luro, Cécile Marchal, Alix Pernet, Jérémy Salinier, Marc Seguin, Rebecca Stevens, Bernice Van Issum-Groyer and Rémi Kahane.

La conservation de la biodiversité, et en particulier de la biodiversité cultivée ou agro-biodiversité, est un enjeu de plus en plus important, notamment en raison de l'accélération des changements globaux qui affectent la planète, la santé humaine et la nutrition. Cet article présente la stratégie et la diversité des actions de conservation des ressources génétiques horticoles telles qu'elles sont actuellement pratiquées en France. Il met également l'accent sur les connexions horticoles internationales de la République française, qui incluent les milieux tempérés, méditerranéens et tropicaux, en tenant compte des départements et territoires d'outre-mer.

1. Le rôle des centres de ressources biologiques

Les ressources phytogénétiques sont à la base de l'innovation variétale dans l'agriculture. Elles constituent une source importante de diversité pour l'évolution des systèmes alimentaires et le développement de systèmes de culture agro-écologiques conçus pour la durabilité et la résilience.

L'évolution des réglementations sur la gestion de la biodiversité par les États et la mise en œuvre du régime d'accès et de partage des avantages (APA) ont renforcé l'importance stratégique des ressources phytogénétiques agricoles (RPG), et en particulier des collections ex situ. Les ressources génétiques horticoles constituent un sous-ensemble de l'agro-biodiversité qui permet l'amélioration et le développement des filières horticoles dans le monde.

La conservation et la valorisation de ces ressources rendent l'agriculture plus résistante aux pressions biotiques et abiotiques, au changement climatique, et sont aujourd'hui essentielles pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle de la population humaine. Elles sont aussi un enjeu de souveraineté alimentaire, qui s'est manifesté de manière éclatante lors de la pandémie de COVID-19.

Le terme «Centre de ressources biologiques» (CRB) a été créé en 1999, à la suite de travaux menés par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Il désigne toute structure détenant des échantillons biologiques et leurs données associées provenant des différents règnes du vivant : humain, animal, végétal et micro-organismes.
Les CRB et les banques de gènes sont dédiés à la collecte, la gestion, la caractérisation, la conservation, l'enrichissement et la distribution d'échantillons biologiques. Pour ce faire, les CRB mettent en œuvre des procédures, des techniques et des bases de données selon des approches normalisées et optimisées d'assurance qualité et de certification.
Ils sont gérés sous la responsabilité d'organismes de recherche publics. Leur rôle est essentiel pour la recherche et le développement de l'horticulture. Ils jouent également un rôle social et culturel important par la conservation des ressources patrimoniales et des connaissances traditionnelles.

2. Infrastructures et organisations au service des CRB

GIS IBISA

Le Groupement d'Intérêt Scientifique GIS IBiSA

(Infrastructures en Biologie, Santé et Agronomie, https://www.ibisa.net/) **est un instrument public pour les installations maintenues par les établissements français des sciences de la vie, y compris les CRB.**

Il conduit les politiques nationales de labellisation et de financement des plates-formes de biologie, santé et agronomie ainsi que des CRB. Il favorise l'organisation et la mutualisation des ressources et des équipements nécessaires aux sciences du vivant. Le GIS IBiSA labellise les CRB selon des critères d'ouverture à tous les utilisateurs, de mise en œuvre d'un système de management de la qualité, d'évolution technologique et de formation.

RARe, UNE INFRASTRUCTURE FRANÇAISE DE CRB AGRONOMIQUES

En France, dans le domaine de la recherche agronomique et environnementale, les CRB sont organisés en réseaux (Mougin et al., 2018). L'infrastructure AgroBRC-RARe (Ressources agronomiques pour la recherche) regroupe cinq réseaux de CRB qui conservent des ressources génétiques, génomiques et biologiques :

- Ressources biologiques microbiennes (https://doi.org/10.15454/1.5613788897481968E12) ;
- Ressources végétales et génomique végétale - BRC4Plants (https://www.agrobrc-rare.org/agrobrc-rare_eng/Presentation/Plant-pillar) ;
- Ressources forestières (https://doi.org/10.15454/1.5613761929199846E12) ;
- Ressources génomiques ou reproductives animals (https://doi.org/10.15454/1.5613785622827378e12) ;
- Ressources associées à une matrice environnementale (https://doi.org/10.15454/TRBJTB).

L'AgroBRC-RARe vise à mutualiser les compétences, à harmoniser les pratiques, à encourager les projets de biologie comparative et à offrir un portail web à entrée unique pour faciliter l'accès à des échantillons bien documentés. Ces objectifs tiennent compte du contexte réglementaire qui varie en fonction de la nature biologique des ressources, tant pour les aspects sanitaires que juridiques. L'AgroBRC-RARe apporte un soutien organisationnel à ses membres dans la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique (CDB) en 1993, du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA) en 2004, et du Protocole de Nagoya en 2010. La France a mis en œuvre les règles d'accès aux ressources génétiques et de partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation à travers le règlement européen N° 511/2014 et la loi n° 2016-1087 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages.

Les CRB sont sous la responsabilité d'organismes de recherche français œuvrant dans le domaine de l'agronomie et de la biologie : Institut de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Centre de recherche pour le développement international (CIRAD), Institut de recherche pour le développement durable (IRD), Centre national de la recherche scientifique (CNRS), et de leurs partenaires - les instituts techniques et les établissements d'enseignement supérieur. Le CRB4Plantes comprend 47 collections vivantes d'espèces ou de groupes d'espèces partagées entre 18 CRB.

Au total, plus de 103 000 accessions sont conservées dans les CRB végétaux français, dont environ 57 000 sont des ressources horticoles appartenant à 62 genres.

Cette organisation des CRB végétaux en réseau permet de réfléchir et de mener des projets de recherche autour de problématiques communes propres aux CRB telles que la diversité génétique et l'analyse du génome des plantes ou la diversité virale des espèces à multiplication végétative *(Encadré 1)* ou, plus généralement, l'application des réglementations phytosanitaires nationales et internationales.

ENCADRÉ 1

Les collections végétales, une fenêtre sur la biodiversité virale. Contributions du projet Safe PGR - Programme EraNet Netbiome *(2012-2015)**

Les cultures à multiplication végétative sont sujettes à l'accumulation de virus car elles ne bénéficient pas d'un assainissement viral suite à la reproduction par semences. D'autre part, les Centres de Ressources Biologiques (CRB) rassemblent un grand nombre d'espèces et de variétés d'origines géographiques diverses.

L'objectif général du projet Safe PGR était d'améliorer la connaissance de la diversité des virus infectant les cultures concernées par les CRB des partenaires, de développer ou d'optimiser les techniques de diagnostic. Enfin, il visait à limiter le risque de propagation des maladies virales par l'échange de matériel génétique de plantes tropicales.

Pour atteindre cet objectif, les partenaires du CRB de la Guadeloupe, de Madère, des Açores et de la Réunion ont combiné des approches de biologie moléculaire classique et de séquençage de nouvelle génération (NGS), ce qui a permis de découvrir des virus sans précédent dans les cultures ciblées (banane et plantain, canne à sucre, igname, patate douce, ail et vanille).

Au total, 21 nouvelles espèces de virus ont été découvertes (1 dans la banane, 3 dans l'ail, 3 dans la patate douce, 4 dans la canne à sucre, 3 dans la vanille et 7 dans l'igname) et leur diversité moléculaire a été explorée. Ceci a permis de mettre en place des méthodes de diagnostic pour ces nouveaux agents ainsi que d'optimiser les méthodes pour 10 virus déjà connus. Ainsi, la connaissance du statut viral des collections de germoplasme a été améliorée, ce qui permet de prévenir la propagation ou l'émergence de maladies.

*Pour plus d'informations, voir Pavis (2015).

LA COORDINATION NATIONALE FRANÇAISE POUR LES RESSOURCES PHYTOGÉNÉTIQUES : LA SAUVEGARDE DES «ESPÈCES ORPHELINES»

La coordination nationale

travaille à la reconnaissance officielle des conservateurs de collections et à l'identification des ressources végétales des espèces cultivées et de leurs apparentés sauvages (autres que les arbres forestiers) qui présentent un intérêt pour la France.

Mise en place par le ministère de l'Agriculture, la coordination est composée d'une structure nationale d'appui (SCN) hébergée au sein du GEVES (Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences), et d'une section transversale du CTPS (Comité technique permanent de sélection) regroupant une diversité d'acteurs (47 membres) impliqués dans la conservation et la valorisation de ces ressources.

Dans ce contexte, le RCS agit pour la sauvegarde d'espèces pertinentes pour l'agriculture française. Il se concentre en particulier sur la conservation des espèces «orphelines», des espèces sans collection identifiée ou avec une collection pour laquelle la régénération ou la caractérisation ne sont pas effectuées : par exemple, le haricot (*Phaseolus* sp.), le pois fourrager (*Lathyrus* sp.), la lentille (*Lens culinaris*) et l'oignon (*Allium cepa*). Des recherches ont été menées sur les collections existantes et avec les parties prenantes souhaitant s'impliquer dans la gestion de ces espèces. Pour les haricots et les oignons, des réseaux de coopération publics et privés sont en cours de création. Pour les pois et les lentilles, l'approche n'a pas abouti en raison d'un nombre insuffisant d'acteurs. Néanmoins, des discussions sont en cours avec des centres internationaux afin d'identifier des solutions potentielles pour la sauvegarde de ces collections. D'autres espèces seront étudiées, comme le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*), le radis (*Raphanus sativus*) ou l'asperge (*Asparagus officinalis*).

Bien que la gestion des ressources génétiques soit organisée en réseaux axés sur les cultures et en CRB en France, les banques de gènes multi-espèces centralisées prévalent en Europe. La coopération en matière de RPG en Europe est organisée par l'ECPGR (The European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources), https://www.ecpgr.cgiar.org/, qui compte 33 pays membres et 23 groupes de travail, dont plusieurs s'intéressent aux cultures horticoles : *Allium*, baies, *Brassica*, cucurbitacées, légumes à feuilles, *Malus/Pyrus*, plantes médicinales et aromatiques, pomme de terre, *Prunus*, solanacées, ombellifères et *Vitis*. Les CRB français participent activement à l'ECPGR. Les ressources génétiques en Europe couvrant 43 pays, 400 instituts et 2 millions d'accessions peuvent être trouvées dans la base de données Eurisco (https://eurisco.ipk-gatersleben.de).

3. Les Centres de Ressources Biologiques en France pour les plantes horticoles

Au sein du CRB4Plantes, onze CRB gèrent des collections vivantes horticoles *(Figure 1 ; Tableau 1)*. Un CRB supplémentaire, le CNRGV (Centre National de Ressources Génomiques Végétales), est spécifiquement dédié aux ressources génomiques *(Encadré 2)*. Une spécificité française au sein de l'espace européen est de disposer de plusieurs territoires ultramarins, appelés RUP (région ultrapériphérique) au niveau européen ou DROM-COM (départements et régions d'outre-mer - collectivités d'outre-mer) au niveau français. Ces territoires sont principalement situés en milieu tropical. Ils abritent une biodiversité importante et de nombreuses collections de ressources génétiques horticoles tropicales organisées en CRB.

Figure 1
Localisation des 11 Centres de Ressources Biologiques (CRB) français dans le monde. A gauche: les CRB d'outre-mer, à droite : les CRB de France métropolitaine et de Corse. **A** = BrACySol, **B** = Carotte et autres Apiacées potagères, **C** = Agrumes, **D** = Vigne, **E** = Olivier, **F** = Prunus-Juglans, **G** = Rose-Pom, **H** = Vanille de Tahiti, **I** = Plantes tropicales, **J** = Vatel, **K** = Légumes. (Figure réalisée par M. Duportal, CIRAD).

Le portail Florilège (http://florilege.arcad-project.org/fr/collections) constitue un point d'entrée web sur les ressources biologiques des plantes pour l'agriculture conservées en France (métropole et outre-mer). Dans sa configuration actuelle, il représente le réseau des CRB végétaux gérés par l'INRAE, le CIRAD et l'IRD membres de l'infrastructure nationale AgroBRC-RARe. Il devrait être prochainement interconnecté avec le portail européen Eurisco (https://www.ecpgr.cgiar.org/resources/germplasm-databases/eurisco-catalogue).

Le portail Inter-TROP (http://crb-tropicaux.com/Portail) est dédié aux ressources biologiques des plantes tropicales pour l'agriculture, maintenues par les CRB végétaux rattachés aux organismes de recherche français en zone tropicale.

Il est soutenu par deux unités de l'INRAE : l'unité mixte de recherche Institut de génétique, environnement et protection des plantes (IGEPP) et l'unité expérimentale Ressources génétiques en conditions océaniques (RGCO), et est basé à Ploudaniel en Bretagne.

ENCADRÉ 2

Le Centre français de ressources génomiques végétales (CNRGV)*

Le CNRGV est une infrastructure nationale au sein de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE). Installé à Toulouse (France) en 2004, il est à la fois un centre de ressources biologiques (CRB) dédié aux bibliothèques génomiques végétales et un prestataire de services pour les projets de génomique végétale. Une bibliothèque génomique consiste en une collection de fragments d'ADN clonés dans des bactéries (appelés clones BAC) qui, ensemble, représentent le génome complet d'une plante. Les clones BAC sont faciles à conserver, à cribler pour les gènes d'intérêt, à isoler l'ADN et à séquencer.

Les missions du CNRGV sont de produire, conserver, caractériser et distribuer des ressources génomiques pour, à terme, comprendre l'organisation des génomes végétaux ou relier des fonctions biologiques ou des caractères agronomiques aux séquences d'ADN qui en régissent l'expression. Pour atteindre ces objectifs, le CNRGV peut soit cribler les banques génomiques pour isoler les clones BAC d'intérêt et les séquencer, soit cibler et séquencer directement de grands fragments d'ADN, en utilisant des méthodes CATCH développées en interne, soit produire une séquence génomique assemblée d'un génotype d'intérêt en collaboration avec des installations de séquençage.

À ce jour, le CNRGV conserve 392 bibliothèques génomiques correspondant à 45 espèces végétales, dont 20 espèces potagères et horticoles. Grâce à des collaborations sur ces espèces particulières, le CNRGV a mis en œuvre divers projets représentatifs des services disponibles. Il s'agit notamment de la production de données génomiques préliminaires pour des espèces peu ou pas caractérisées (panais, fruit de la passion), de la caractérisation des régions régissant les résistances aux stress biotiques (résistance aux virus chez le poivron) et abiotiques (tolérance au gel chez le pois), de la production de séquences génomiques de référence (tomate, vanille). Récemment, le CNRGV a développé des outils pour caractériser les variations intraspécifiques de la structure des chromosomes (abricot).

À l'avenir, le CNRGV entend contribuer à une meilleure caractérisation des ressources génétiques au niveau génomique.

*Pour plus d'informations, voir https://cnrgv.toulouse.INRAE.fr/

Tableau 1
Liste détaillée des centres de ressources biologiques français s'occupant de collections horticoles.

Code	BRC name	Town (region)	Affiliation	Contact	Family	Main genus/ species	Common names	Number of accessions preserved	Number of accessions released (2019)	Selected scientific references
A	BrACySol	Ploudaniel (Brittany)	INRAE	florence.esnault@INRAE.fr	Brassicaceae Alliaceae Asteraceae Solanaceae	Brassica Allium Cynara Solanum tuberosum	Cabbage, rape seed Garlic, shallot Artichoke Potato	3,400 420 20 12,000	1,310	Aissiou et al. (2018) Esnault et al. (2014, 2016)
B	Carrot and other vegetable Apiaceae	Angers (Pays de la Loire)	Agrocampus Ouest	crbcarotte@agrocampus-ouest.fr	Apiaceae	Daucus Chaerophyllum Other Apiaceae	Carrot Tuberous rooted Chervil, parsnip, fennel, etc.	4,376 706 37	5	Chevalier et al. (2021) Geoffriau (2020) Martinez Flores et al. (2019)
C	Citrus	San Giuliano (Corsica)	INRAE	emmanuel.bloquel@INRAE.fr	Rutaceae	Citrus	Citrus	1,100	420	Ahmed et al. (2019) Curk et al. (2016) Luro et al. (2017)
D	Grapevine	Montpellier (Occitania)	INRAE	cecile.marchal@INRAE.fr	Vitaceae	Vitis	Table grape Grape	2,262 5,738	500	Bonhomme et al. (2020) Candresse et al. (2020) Dumas et al. (2020)
E	Olive tree	Porquerolles (French Riviera)	CBN Med/ INRAE	b.khadari@cbnmed.fr magalie.delalande@INRAE.fr	Oleaceae	Olea	Olive	63	0	El Bakkali et al. (2019) Khadari and El Bakkali (2018) Khadari et al. (2019)
F	Prunus-Juglans	Avignon (Provence), Bordeaux (Aquitaine)	INRAE	marine.delmas@INRAE.fr	Rosacae	Prunus armeniaca Prunus dulcis Prunus persica Prunus cerasus Prunus domestica Juglans	Apricot Almond Peach Cherry Plum Walnut	600 250 500 500 420 40	NA	Bernard et al. (2020) Cirilli et al. (2020)
G	Pome fruits and roses (RosePom)	Beaucouzé (Pays de la Loire)	INRAE	Alix.Pernet@INRAE.fr Laurence.Feugey@INRAE.fr	Rosaceae	Malus Pyrus Cydonia Rosa	Apple Pear Quince Rose	4,917 2,474 59 2,518	638	Lassois et al. (2016) Liorzou et al. (2016) Lopez Arias et al. (2020) Muranty et al. (2020)
H	Tahitian vanilla	Raiatea (French Polynesia)	EVT	sandra.lepers@vanillede-tahiti.pf	Orchidaceae	Vanilla	Vanilla	321	2	Lepers-Andrzejewski et al. (2012) Lubinsky et al. (2008)
I	Tropical plants	Petit Bourg (Guadeloupe), Le Lamentin (Martinique)	CIRAD/ INRAE	crb.plantes-tropicales@cirad.fr	Musaceae Bromeliaceae Poaceae Anacardiaceae Dioscoreaceae	Musa Ananas Saccharum Mangifera Dioscorea	Banana Pineapple Sugarcane Mango Yam	403 467 335 120 430	600	Arnau et al. (2017) Martin et al. (2020) Umber et al. (2020)
J	Vatel	St Pierre (Reunion Island)	CIRAD	carine.charron@cirad.fr marc.seguin@cirad.fr	Orchidaceae Amaryllidaceae Araceae, Euphorbiaceae, Dioscoreaceae Fabaceae Cucurbitaceae	Vanilla Tropical garlic Roots and tubers Neglected vegetables	Vanilla Garlic Taro, Cassava, Yam, etc. Beans, peas Luffa, snake gourd	700 33 82 103	300	Andriamihaja et al. (2020) Bouétard et al. (2010) Roux-Cuvelier (2017)
K	Vegetables (Leg)	Avignon (Provence)	INRAE	rebecca.stevens@INRAE.fr	Solanaceae Cucurbitaceae Asteraceae	Solanum melongena Capsicum Solanum lycopersicum Cucumis melo Lactuca	Eggplant Pepper Tomato Melon Lettuce	2,333 2,173 3,378 2,332 948	1,595 (distribution out of the research unit)	Daunay et al. (2011) Salinier et al. (2019a, b)

CENTRE DE RESSOURCES BIOLOGIQUES BRACYSOL *(FIGURE 1A)*

Le CRB BrACySol

conserve et caractérise des collections de ressources génétiques de différents genres cultivés : *Brassica* (chou, navet, colza et moutarde), *Allium* (échalote et ail), *Cynara* (artichaut) **et** *Solanum* (pomme de terre et espèces apparentées).

Le CRB BrACySol est porté par deux unités INRAE : l'Unité Mixte de Recherche Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes (IGEPP) et l'Unité Expérimentale Ressources Génétiques en Conditions Océaniques (RGCO), et est basé à Ploudaniel en Bretagne.

Le CRB BrACySol est impliqué dans différents projets de recherche européens (H2020 G2P-Sol ; Prima Bras Explor), nationaux (PIA Rapsodyn ; CASDAR Brassidel, PoTStaR, GeCoNem) ou des projets financés par les partenaires professionnels (Promosol, GIE Colza, Association des Créateurs de Variétés Nouvelles de Pomme de Terre, Fédération Nationale des Producteurs de Plants de Pomme de Terre). Ces projets ont pour objectifs d'explorer, décrire et structurer la diversité génétique, développer des core collections, réaliser des analyses de génétique d'association pour identifier les régions génomiques impliquées dans des caractères de résistance à différents bioagresseurs ou à des contraintes abiotiques, introduire cette diversité dans du matériel de pre-breeding en exploitant la recombinaison, développer des marqueurs utilisables en sélection assistée par marqueurs.

La collection Brassica comprend 1 200 accessions de crucifères légumières, qui sont des populations collectées chez les agriculteurs avant leur disparition au profit des variétés hybrides, 2 200 accessions de crucifères oléagineuses incluant des variétés lignées représentant la variabilité mondiale et du matériel scientifique original présentant des traits d'importance agronomique tels que la résistance à différents bioagresseurs ou la qualité de la graine. Les accessions de cette collection sont conservées sous forme de graines dans des congélateurs ou cryocontainers. Les lots de graines sont renouvelés tous les 10 à 15 ans, selon leur taux de régénération.

La collection Solanum comprend 12 000 accessions. Elle est composée de clones d'espèces apparentées originaires d'Amérique du Sud et caractérisés pour un certain nombre de caractères d'intérêt, de variétés représentant la variabilité mondiale, dont des variétés anciennes qui ne sont maintenues dans aucun autre CRB Européen, et de matériel scientifique original présentant des caractères d'importance agronomique tels que la résistance à différents bioagresseurs ou la qualité technologique des tubercules. Ces accessions sont maintenues par multiplication végétative sous forme de tubercules, de vitroplants ou d'apex cryoconservés. Le maintien des espèces apparentées sous forme de clones caractérisés constitue une spécificité de cette collection.

La collection Allium comprend 120 accessions d'ail et 300 accessions d'échalote. Elle est composée de populations collectées en France avant l'ouverture du catalogue, de variétés anciennes et nouvelles et de matériel scientifique original pour la sélection de caractères agronomiques tels que la résistance aux maladies ou la teneur en matière sèche. Les accessions sont maintenues par multiplication végétative sous forme de bulbes.

La collection Cynara comprend 20 accessions d'artichaut. Elle est composée de variétés françaises et de variétés servant de référence dans les essais. Les accessions sont maintenues sous forme de plants en serre.

Le CRB BrACySol appartient au pilier BRC4Plants de l'infrastructure de Recherche RARe. Il coordonne trois réseaux nationaux de conservation de ressources génétiques végétales : le réseau "crucifères légumières", le réseau "crucifères oléagineuses" et le réseau "Pomme de terre" et participe au réseau Cynara. D'autre part, le CRB BrACySol fait partie du réseau européen ECP/GR et est membre des groupes de travail Brassica, Allium et Potato.

Les collections maintenues au sein du CRB BrACySol sont visibles sur le portail français Florilège (http://florilege.arcad-project.org/fr) et le portail européen Eurisco.

Le CRB BrACySol est engagé dans une démarche de certification selon la norme ISO 9001:2015.

©Nathalie Quéré, INRAE, UMR IGEPP

CRB CAROTTE ET AUTRES APIACÉES POTAGÈRES *(FIGURE 1B)*

Basé sur une activité de recherche et de gestion des ressources génétiques initiée en 1996, le CRB «Carotte et autres apiacées potagères» a été rétabli en 2011. Ce CRB est soutenu par l'Institut Agro | Agrocampus-Ouest, avec des recherches conjointes avec l'IRHS (Institut de recherche sur l'horticulture et les semences). Les activités concernées portent sur la diversité génétique et l'évolution de la carotte et des espèces sauvages apparentées, les déterminants génétiques des composés impliqués dans la qualité et la résistance aux maladies de la carotte, et l'effet de l'environnement, des pratiques et des interactions génétiques sur la qualité et la résistance. Le CRB collabore au niveau international (par exemple, avec les banques de gènes européennes et tunisiennes, l'ECPGR (Programme coopératif européen pour les ressources phytogénétiques), l'Université du Wisconsin).

Ce CRB se concentre sur les ressources génétiques de la carotte avec 1 376 accessions patrimoniales (dont 350 parents sauvages) et près de 3 000 accessions scientifiques résultant d'activités de recherche (consanguins, populations en ségrégation, populations intercroisées). Il possède une collection unique de cerfeuil tubéreux (23 accessions patrimoniales et 683 accessions scientifiques) et quelques accessions d'autres cultures d'apiacées.

Le CRB Carotte et autres apiacées potagères coordonne le réseau national de carottes et autres ressources génétiques *Daucus* (comprenant 7 entreprises et 3 organisations professionnelles), héberge et gère la collection du réseau. Il fournit une expertise et des ressources dans le cadre du CTPS (contrôle de l'enregistrement et de la maintenance des variétés). Ce CRB mène des projets en partenariat avec des entreprises de semences et apporte un soutien scientifique au processus de sélection participative des producteurs de légumes biologiques. La gestion des connaissances sur les populations de carottes sauvages se fait en collaboration avec les conservatoires botaniques nationaux (par exemple, Bailleul, Porquerolles, Corse) et un expert en taxonomie (Via Apia). Au niveau européen, le CRB Carotte et autres apiacées potagères représente la France au sein du groupe de travail ECPGR *Umbellifera* (coordination 2008-2013), et participe aux projets ECPGR Carrot Diverse et EVA carotte. Elle coordonne les missions de collecte.

La collection patrimoniale nationale de carottes est accessible sur le site https://crbcarotte-cn.agrocampus-ouest.fr/. Le CRB Carotte et autres Apiacées potagères s'est engagé dans la voie de l' ISO 9001-2015.

LE CRB CITRUS *(FIGURE 1C)*

En 1959, la collection d'agrumes a été créé par l'introduction de matériel provenant initialement de la zone méditerranéenne, puis d'autres zones de culture comme l'Asie du Sud-Est, région d'origine des agrumes. Il est situé en Corse, sur la station INRAE de San Giuliano, et géré conjointement par INRAE et le Cirad. Aujourd'hui, le CRB Agrumes compte plus de 1 100 accessions provenant de plus de 50 pays, ce qui constitue l'une des cinq plus importantes collections d'agrumes au monde. Tous les groupes ou espèces cultivées sont représentés, mais le groupe des mandarines et leurs hybrides constituent une collection centrale spécialisée (environ ¼ du CRB). Les agrumes sont conservés sous la forme d'arbres greffés (3 ou 4 arbres par accession) plantés dans des vergers sur 14 ha au total. Aujourd'hui, environ 25% de la collection est dupliquée et conservée dans une serre à l'épreuve des insectes. Des formes de conservation plus sûres sont à l'étude, comme la cryoconservation de graines polyembryonnées (multiplication apomictique par embryon somatique). De 2014 à 2020, le CRB Agrumes a été certifié selon la norme NFS 96-900. En 2020, cette norme a été remplacée par le système de qualité international ISO 9001-2015. Un logiciel de gestion a été développé et se compose de modules dédiés à chaque activité majeure : introduction, conservation, caractérisation et diffusion du matériel végétal.

Jusqu'en 1999, le conservatoire avait sa propre stratégie de quarantaine. La thermothérapie et la régénération par embryogenèse somatique ont été utilisées, au début, pour garantir l'état sanitaire du matériel introduit. Puis, à partir de 1981, le microgreffage d'apex a été appliqué et a ouvert les possibilités d'introduction à toutes les variétés de toutes origines géographiques. Depuis le début du 21ème siècle, l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) de Clermont-Ferrand (France métropolitaine) assure les services de quarantaine. La Corse présente une faible pression parasitaire pour les agrumes. Ainsi, les contrôles réguliers permettent à ce CRB d'être l'un des rares endroits où tous les arbres extérieurs restent sains.

Près de 32% des accessions sont disponibles pour la distribution par l'envoi de greffons ou de graines (environ 170 accessions par an). Ces formes sont disponibles pour la recherche sur les plantes, les feuilles, les fruits et les fleurs (environ 250 accessions par an). La collection permet de nombreuses études génétiques, agronomiques, physiologiques ou biochimiques, ainsi que le développement variétal par sélection pour l'hybridation. L'importante diversité variétale des mandarines, citrons, limes et cédrats a été exploitée pour développer des études phylogénétiques et analyser la structure des génomes *(Encadré 3)*.

ENCADRÉ 3

L'origine des agrumes - F. Curk (INRAE) et P. Ollitrault (CIRAD)

Les ancêtres des agrumes se sont d'abord diversifiés dans différentes régions, du sud de l'Himalaya à l'Océanie. Cette évolution dite allopatrique a différencié un certain nombre de taxons, dont quatre (*C. maxima* (Burm.) Merr [pamplemousses], *C. reticulata* Blanco [mandarines], *C. medica* L. [cédrats] et *C. micrantha* Wester [papedas]) sont à l'origine des principaux groupes horticoles *(Figure 2)*. L'hybridation entre ces taxons ancestraux s'est produite à la suite d'un chevauchement des aires de répartition géographique, certainement lié à des changements climatiques majeurs. Ces hybridations ont généré de nouvelles espèces, dont certaines ont été repérées par l'homme moderne après avoir été sélectionnées au cours des millénaires. Des études phylogénétiques récentes ont mis à jour et confirmé cette histoire.

Nous savons aujourd'hui que le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) est un hybride direct entre un pamplemousse et un mandarinier sauvage. L'oranger (*Citrus sinensis* L. (Osb.)) est issue d'une combinaison plus complexe des génomes de *C. maxima* et *C. reticulata*. Le citronnier (C. *limon* (L.) Burm.) est un hybride entre le bigaradier et le cédratier. Le cédratier est le parent mâle de tous les agrumes acides, y compris le limettier mexicain (*C. aurantiifolia* (Christm.) Swing.), un hybride direct entre *C. micrantha* et *C. medica*. Les résultats les plus récents ont mis en évidence l'origine complexe du limettier de Tahiti (*C. latifolia Tan.)*, qui possède un génome mosaïque complexe dérivé des quatre taxons ancestraux. Ce limettier est en fait un hybride entre le limettier mexicain et le citronnier.

Outre l'identification de l'espèce ancestrale à l'origine des agrumes cultivés, cette information ouvre la voie à de nouvelles stratégies de sélection basées sur une large exploitation des ressources génétiques du complexe d'espèces pour générer les génotypes de demain.

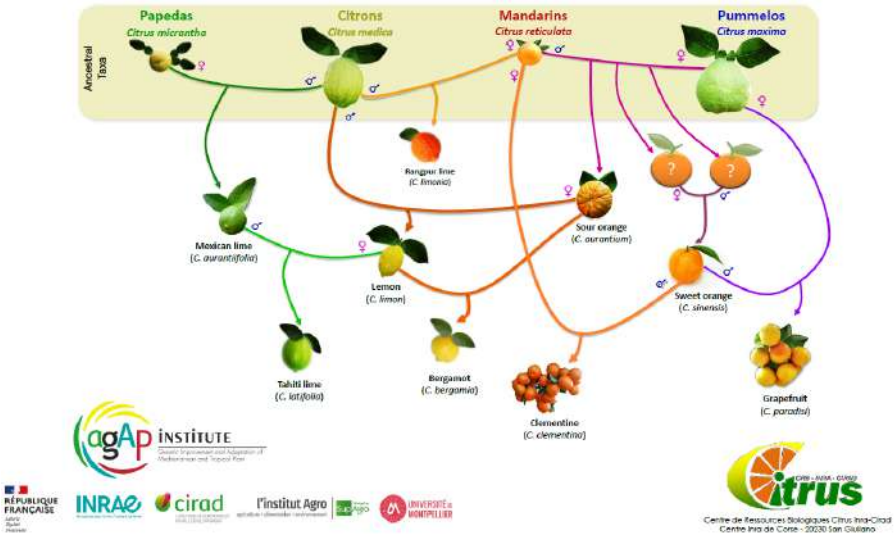


Figure 2
Origine génétique des principaux agrumes cultivés.

LE CRB DE LA VIGNE *(FIGURE 1D)*

Le Centre de Ressources Biologiques (CRB) de la Vigne de Vassal-Montpellier représente le plus ancien et le plus riche conservatoire ampélographique au monde, en nombre et en diversité. Créé en 1876 à l'Ecole d'Agriculture de Montpellier (aujourd'hui Institut Agro | Montpellier SupAgro) pendant la crise du phylloxéra, il est géré par l'INRA et implanté sur le site du Domaine de Vassal depuis 1949. Sous l'égide scientifique de l'équipe de recherche sur la génétique de la vigne de Montpellier (aujourd'hui UMR AGAP, équipe « Diversité, Adaptation et Amélioration de la Vigne »), il a été étudié et enrichi sans discontinuer : le fonds documentaire et les données associées sont donc également d'une grande originalité.

La collection est aujourd'hui constituée de plus de 8 000 accessions de vignes cultivées, de porte-greffes et d'espèces sauvages apparentées provenant de 54 pays. Concernant plus particulièrement les raisins de table, 2 262 accessions sont conservées, représentant 1 187 variétés différentes, dont 243 sont considérées à « double fin » pour la cuve et pour la table.

Les accessions sont cultivées au vignoble sur 5 souches et sont caractérisées d'un point de vue morphologique, phénologique, agronomique, technologique, sanitaire, génétique et bibliographique.

L'accent a été mis ces dernières années sur le comportement face aux principaux pathogènes, notamment au travers du projet Vitirama (https://www6.montpellier.inrae.fr/vassal/Activites/Projets/Vitirama), pour soutenir l'utilisation et la création de variétés nécessitant moins de traitements phytosanitaires.

Chaque année, en moyenne 500 variétés sont diffusées sous la forme de boutures-greffons ou de matériel frais (feuilles, baies,...) à destination de professionnels de la filière, d'amateurs, et de chercheurs français et étrangers. Les thématiques de recherche auxquelles le CRB est associé sont très variées, de l'archéobotanique à la virologie, en passant par la physiologie et l'adaptation au changement climatique.

Le fonds documentaire est une ressource à part entière, en cours de numérisation grâce à un programme de mécénat, et mobilisée en particulier dans des projets avec des historiens, tels que CepAtlas (Atlas ampélographique historique de la France, http://citeres.univ-tours.fr/spip.php?article3174).

Le CRB co-anime par ailleurs, avec l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV), le Réseau Français des Conservatoires de Vigne (RFCV) réunissant 36 partenaires professionnels de toutes les régions viticoles. Ainsi est-il en charge de la base de données commune à ce réseau, consultable au lien suivant https://bioweb.supagro.inra.fr/collections_vigne/Home.php.

LES OLIVIERS DU CRB *(FIGURE 1E)*

L'olivier (*Olea europaea*) est l'une des espèces emblématiques de la Méditerranée. Il est cultivé pour la production d'huile alimentaire et d'olives de table sur une surface de plus de 10 millions d'hectares dans le monde. C'est un arbre «immortel», notamment en raison de sa capacité à se régénérer après des événements climatiques extrêmes. *Olea* comprend six sous-espèces, mais seul l'olivier *Olea europaea* subsp. *europaea* a été domestiqué il y a environ 6 000 ans. Cette sous-espèce est présente sur tout le pourtour méditerranéen, tant sous sa forme sauvage (var. *sylvestris*) que cultivée (var. *europaea*). La domestication sensu stricto a commencé par la multiplication végétative d'arbres sauvages sélectionnés pour des caractéristiques probablement liées à la taille des fruits et à leur teneur en huile.

Le CRB Oliviers est soutenu par le Conservatoire botanique national méditerranéen (CNBMed), basé à Hyères-les-Palmiers en région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur), et géré conjointement par l'INRAE, dans le cadre de l'Institut AGAP à Montpellier.

Le CRB se concentre sur la collection nationale d'oliviers, hébergée par le parc national de Port-Cros sur l'île de Porquerolles (région PACA). Le noyau de la collection est composé de variétés patrimoniales françaises et de variétés provenant d'autres pays méditerranéens. En partenariat avec l'organisation professionnelle de l'oléiculture (France-Olive), une collection nationale française a été établie, constituée de 63 accessions formellement identifiées et considérées comme la référence des variétés d'olives françaises. Ceci a été possible grâce à un énorme travail d'identification basé sur des informations morphologiques (arbre, feuille, fruit, noyau), moléculaires (marqueurs microsatellites) et bibliographiques (validation des noms) et selon les avis des parties prenantes de France-Olive. Ce travail d'identification se poursuit pour lever les ambiguïtés sur certaines variétés dont le génotype de référence n'est pas encore validé.

Les oliviers BRC sont issus d'une collection située sur une île au sein d'un parc national, selon un système de culture biologique. De plus, sa gestion prend en compte le niveau national à travers des collections locales gérées en partenariat avec les acteurs de France-Olive, et le niveau international à travers des collections mondiales gérées au sein du réseau de ressources génétiques du Conseil Oléicole International (COI). L'organisation BRC Oliviers assure une sauvegarde des ressources génétiques françaises ex situ dans les collections locales (réseau France-Olive) et mondiales (réseau COI), ainsi qu'in situ à travers les arbres gérés par France-Olive dans les vergers.

Le CRB Oliviers est considéré comme un outil de recherche innovant sur l'adaptation au changement climatique mené par l'Institut AGAP en collaboration avec des partenaires nationaux et internationaux principalement au Maroc et en Espagne (projet OliveMed financé par la Fondation Agropolis, 2021-2025). Deux thèmes de recherche sont actuellement mis en œuvre dans ce cadre : i) la compréhension des processus de floraison en relation avec les besoins en froid des variétés, et ii) l'étude de la variabilité des traits fonctionnels liés à la résistance à la sécheresse chez les oliviers (https://umr-agap.cirad.fr/en/research/main-projects/olivemed). Ces lignes de recherche sont liées à des analyses NGS (séquençage de nouvelle génération) afin d'identifier des variantes génomiques adaptatives.

CRB *PRUNUS-JUGLANS* *(FIGURE 1F)*

Le CRB *Prunus-Juglans* est géré par l'INRAE, dans des vergers ou des conteneurs abrités de fruits et d'espèces apparentées appartenant aux genres *Prunus* (fruits à noyau) et *Juglans* (noyer).

Une grande partie de ce matériel est composée de variétés traditionnelles et modernes d'intérêt agronomique. Une autre partie est constituée d'accessions d'intérêt scientifique, principalement issues des travaux de recherche de l'INRAE. Des espèces apparentées sont également incluses dans les collections : certaines présentent un intérêt en tant que porte-greffe, d'autres peuvent être porteuses de gènes d'intérêt tels que ceux de la résistance aux maladies. Le cerisier japonais (*Prunus serrulata*), très apprécié pour sa floraison abondante, et le myrobolan (*Prunus cerasifera*), largement utilisé comme porte-greffe pour le prunier, l'abricotier ou l'amandier, sont parmi les espèces les plus connues des collections de *Prunus*. Ces arbres sont cultivés et observés dans deux régions de production en France :

- En Provence-Alpes-Côte d'Azur (sud-est de la France), l'unité de recherche INRAE-GAFL (Génétique et amélioration des fruits et légumes) gère exclusivement des arbres fruitiers à noyaux : abricot (600 accessions), amande (250 accessions) et espèces apparentées ;
- En Nouvelle-Aquitaine (sud-ouest de la France), l'unité d'expérimentation sur les arbres fruitiers de l'INRAE gère à la fois des *Prunus* et des *Juglans* : cerisier (3 espèces, 500 accessions), pêcher (1 espèce, 500 accessions), prunier (1 espèce, 350 accessions), et espèces apparentées de *Prunus* (30 espèces, 70 accessions) ; et noyer (15 espèces, 40 accessions).

Les collections de *Prunus* sont utilisées par les unités de recherche du département «Biologie et amélioration des plantes» de l'INRAE, impliquées dans l'innovation variétale ou la résistance au stress. Ceci est illustré par le projet «Caress *Prunus*» (Caractérisation des ressources génétiques de *Prunus* pour les stress biotiques et abiotiques) financé par CASDAR. Ce projet a caractérisé les ressources génétiques disponibles par une approche multicritères ciblant la phénologie (dormance, floraison, maturité et sénescence) et la sensibilité aux ravageurs et aux maladies. Les collections de *Juglans* sont utilisées à la fois à des fins de sélection dans le cadre d'un partenariat avec le Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), et à des fins de recherche, notamment en physiologie animale dans le cadre d'un projet de recherche développant des composés hormonaux végétaux dans l'élevage caprin.

CRB FRUITS À PÉPINS ET ROSES (ROSEPOM) *(FIGURE 1G)*

Le CRB «Fruits à pépins et roses» (CRB RosePom) est hébergé par l'INRAE près d'Angers, dans la région des Pays de la Loire, sur deux sites principaux : Beaucouzé et La Rétuzière. Il est géré par l'unité mixte de recherche Institut de recherche en horticulture et semences (IRHS), et par l'unité expérimentale Horti. Il comprend des collections i) d'accessions de pommier, de poirier et de cognassier, principalement sur le terrain et sous forme d'échantillons d'ADN, et ii) d'accessions de rosiers. Les accessions scientifiques du genre Rosa sont conservées sur le terrain et sous forme d'échantillons d'ADN, tandis que les accessions patrimoniales le sont principalement sous forme d'échantillons d'ADN, les roses de plein champ héritées étant conservées par différentes roseraies privées et publiques en France.

Les missions du CRB RosePom sont les suivantes :

- La préservation des ressources biologiques des fruits à pépins et des roses, y compris l'amélioration et la rationalisation des collections ;
- La caractérisation phénotypique et génotypique de ces ressources, afin de pouvoir fournir des échantillons et des données à des fins de recherche et de sélection, principalement dans le cadre de projets de collaboration ;
- La mise à disposition de l'expertise et du matériel disponible des collections de fruits à pépins pour les tests de distinction, d'homogénéité et de stabilité (DHS) ;
- L'analyse des données associées à ces ressources en collaboration avec des équipes de recherche et des gestionnaires de germoplasme externes.

Le BRC RosePom dirige également des réseaux de ressources génétiques pour les fruits à pépins et les roses aux niveaux national, européen et international, ou y contribue.

Le BRC RosePom conserve actuellement près de 10.000 accessions sur le terrain (4 917 *Malus*, 2 474 *Pyrus*, 59 *Cydonia*, et 2 1518 *Rosa*) et plusieurs milliers d'accessions supplémentaires sous forme d'échantillons d'ADN uniquement. Pour stocker efficacement toutes les données associées, une base de données est en cours de construction et devrait être bientôt disponible. Cette ressource, qu'elle soit patrimoniale ou scientifique, est à la base de nombreux projets de recherche. Par exemple, le projet CorePom financé par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité a permis un accroissement sans précédent des connaissances sur l'identité des accessions et le statut d'unicité/duplication du germoplasme de pommier français génotypé par SSR. La diversité et la structure génétiques ont été analysées et ont permis de constituer des collections de base.

Une première analyse de parenté a également été réalisée. Dans le cadre du projet FruitBreedomics financé par l'UE (https://cordis.europa.eu/project/id/265582), plus de 2 400 accessions provenant de 14 collections européennes, y compris celle du BRC RosePom, ont été analysées plus en détail et ont révélé un flux de gènes important chez le pommier au niveau européen. Le même ensemble d'accessions a également été utilisé dans une étude d'association à l'échelle du génome sur les périodes de floraison et de maturation et pour la reconstruction d'un pedigree extra-large, multi-générationnel et hautement connecté. Pour le rosier, l'ADN stocké au CRB de cultivars français du 19e siècle a permis au projet FlorHiGe (2013-2016) de montrer l'introgression du fond génétique européen par le fond génétique asiatique. Les descendances de roses cartographiées présentes dans les champs RosePom du CRB sont le support de plusieurs études de loci de caractères quantitatifs sur différents traits, y compris le parfum des roses, le piquant et la résistance aux maladies. D'autres projets sur la diversité des roses, tels que ceux sur *Rosa gallica*, ou le projet RosesMonde (2015-2019) ont fortement contribué à enrichir la collection d'ADN du BRC RosePom.

CRB DE LA VANILLE DE TAHITI *(FIGURE 1H)*

Le CRB de la vanille de Tahiti est situé sur l'île de Raiatea, en Polynésie française. Il est géré par l'Etablissement Vanille de Tahiti (EVT) et a été labellisé par le GIS IBiSA en 2015. Son système de gestion de la qualité est basé sur la norme ISO 9001.

Ce CRB comprend 71 accessions de vanille (*Vanilla* × *tahitensis, V. planifolia, V. pompona* et hybrides) conservées dans deux serres ombragées, plus 250 créations variétales conservées in vitro. Sur ces 321 accessions, 316 sont uniquement présentes au CRB Vanille tahitienne (vanilles polynésiennes et hybrides créés par l'EVT). Cinq accessions sont également présentes au CRB Vatel : *V. planifolia, V. pompona* et *V.* × *tahitensis* 'Haapape'.

L'analyse de la diversité génétique des vanilliers de la collection a permis de comprendre la diversification secondaire des vanilliers en Polynésie française et de mettre en évidence leur origine hybride. De plus, les analyses génétiques ont montré que la majorité des variétés présentes dans les plantations polynésiennes résultent de la germination spontanée des graines du cultivar «Tahiti», ou d'une polyploïdisation naturelle (doublement du nombre de chromosomes) pour les cultivars «Haapape» et «Tiarei», par exemple. Ces éléments mettent en évidence la spécificité des vanilliers polynésiens. Ils ont permis de définir des stratégies de protection et de développement telles que la réglementation locale et la démarche de certification AOP en cours.

Le cultivar le plus cultivé en Polynésie française est *V.* × *tahitensis* 'Haapape', vigoureux mais peu florifère et de qualité aromatique moyenne. Dans le CRB Vanille de Tahiti, différentes variétés de vanille ont été évaluées dans le cadre d'un programme de sélection de variétés plus performantes, c'est-à-dire mieux adaptées aux aléas climatiques et aux maladies émergentes. La sélection se fait par le suivi des caractères agronomiques dans la serre de l'EVT, chez les producteurs polynésiens et en laboratoire par des tests in vitro de sensibilité à la fusariose. Certaines accessions ainsi sélectionnées sont aujourd'hui proposées aux producteurs. Il s'agit de variétés présentant une excellente qualité aromatique et une grande capacité de floraison, ou plus tolérantes à la fusariose.

CRB PLANTES TROPICALES *(FIGURE 1I)*

En Guadeloupe et en Martinique, îles françaises des Caraïbes, le Cirad et l'INRAE constituent depuis plusieurs décennies d'importantes collections de ressources génétiques de plantes tropicales. En 2010, les deux organisations ont uni leurs forces pour créer le Centre de ressources biologiques «Plantes tropicales-Antilles» (CRB-PT). Quatre collections d'espèces horticoles à multiplication végétative, conservées sur le terrain, composent le CRB : banane, mangue, ananas et igname. Ces collections sont gérées sous assurance qualité, le CRB étant certifié selon la norme NF-S 96 900 et en cours de certification pour la norme ISO 9001-2015. Le CRB héberge également l'Herbier de Guadeloupe, qui contient plus de 12 000 planches botaniques. Il participe activement aux activités de mise en réseau BRC4Plants au niveau national.

La collection de bananes comprend 403 accessions représentant une part importante de la diversité mondiale des bananes. Elle est maintenue sur le terrain et sécurisée in vitro pour les accessions les plus fragiles. Les types de bananes suivants sont représentés : banane plantain, banane à cuire, banane dessert, banane ornementale et banane sauvage, y compris *Musa acuminata* et *Musa balbisiana*, les parents ancestraux de la banane cultivée. Cette collection fait partie du réseau Musa-LAC (Latin America and Carribean) soutenu par Bioversity International. Elle est impliquée dans de nombreux projets de recherche en génétique et en sélection de bananes. C'est l'une des plus importantes collections de bananiers au monde en termes de diversité génétique et de nombre d'accessions conservées.

La collection d'ignames, gérée par l'INRAE, est composée de 430 accessions conservées in vitro, dont une partie est renouvelée au champ chaque année. Les principales espèces représentées sont *Dioscorea alata, D. trifida, D. cayenensis-rotundata, D. bulbifera et D. esculenta*. Des recherches en virologie sont menées sur cette collection, qui est également utilisée dans le cadre de projets internationaux (par exemple, RTBfoods, https://rtbfoods.cirad.fr / ; Africayam, http://africayam.org/).

La collection de mangues est une collection historique du CIRAD. Elle comprend 120 accessions conservées au champ, principalement de l'espèce *Mangifera indicae*. Soixante-dix pour cent des génotypes proviennent d'Afrique. Récemment enrichie de variétés patrimoniales

des îles françaises des Caraïbes, cette collection est utilisée pour diversifier la production de mangues.

La collection d'ananas, située en Martinique, comprend 467 accessions sauvages et cultivées représentatives de la diversité du genre et du bassin amazonien, zone d'origine de l'ananas.

La collection d'ananas (*Ananas comosus*) est actuellement conservée sur le terrain, mais devrait être sécurisée par cryoconservation dans un avenir proche. Il s'agit de l'une des plus importantes collections d'ananas au monde.

Le CRB est responsable du développement du logiciel OLGA (Local accession management tool), un outil informatique utilisé par de nombreux CRB en France pour gérer les stocks de ressources génétiques et les données associées. Les collections maintenues au sein du CRB sont répertoriées sur le portail web Florilège.

CRB VATEL *(FIGURE 1J)*

Le CRB Vatel (vanille, ail, tubercules et légumes) est situé sur l'île de la Réunion, dans l'océan Indien. Il est géré par le Cirad dans le cadre de l'unité de recherche Peuplements Végétaux et Bioagresseurs en Milieu Tropical (Cirad/Université de la Réunion). Quatre collections de ressources génétiques de plantes agricoles sont conservées au CRB Vatel :

- Vanille : 700 accessions, 25 espèces du genre *Vanilla (Orchidaceae)* ;
- Ail tropical : 33 variétés d'*Allium sativum (Amaryllidaceae)* ;
- Légumes racines et tubercules : 82 accessions, 11 espèces (manioc, taro, igname, patate douce, etc.), 7 familles (par exemple *Euphorbiaceae, Araceae, Dioscoreaceae,* et *Convolvulaceae*) ;
- Légumes à graines : 103 accessions, 30 espèces (y compris les courges, les pois d'Angole, les niébés), 9 familles (principalement les *Cucurbitaceae* et les *Fabaceae*).

La collection de vanille comprend des accessions des trois espèces cultivées (*Vanilla planifolia, V. pompona* et *V. × tahitensis*) ainsi que 25 espèces sauvages apparentées et des hybrides interspécifiques. Il s'agit de l'une des collections les plus importantes au monde pour le genre *Vanilla*. Ces dernières années, le CRB a contribué à des travaux importants sur la diversité génétique et l'évolution des vanilles cultivées et sauvages, sur l'élucidation des mécanismes de biosynthèse et de stockage des composés aromatiques dans les fruits et sur la résistance à la fusariose. Il est également impliqué dans la création et la sélection de génotypes de vanille améliorés. Depuis 2018, le CRB Vatel coordonne le projet VaniSeq mené par un consortium public-privé français pour décrypter le génome de la principale espèce de vanille cultivée *V. planifolia.*

Les trois collections d'ail et de légumes sont constituées de variétés traditionnelles de la région du sud-ouest de l'océan Indien, dont la plupart ont été collectées à l'île de la Réunion. Ces collections répondent à l'enjeu de conservation d'un patrimoine agricole et culturel («légume lontan»), mais présentent également un intérêt en termes de diversification alimentaire dans la région.

Le CRB Vatel utilise quatre installations du Cirad sur l'île de la Réunion : les laboratoires du Pôle de Protection des Plantes (3P) et trois stations de terrain. Les accessions sont conservées sous forme de collections vivantes cultivées au champ ou sous serre (vanille, ail, racines et tubercules) ou de collections de semences en chambre froide (légumes à graines). Une partie des accessions est dupliquée par culture de tissus in vitro pour la vanille, les racines et les tubercules (manioc, igname et patate douce).

Sur les 918 accessions vivantes conservées au CRB Vatel, environ 200 sont disponibles pour la distribution. Des échantillons de semences (graines, lianes, bulbes ou tubercules selon l'espèce) peuvent être commandés en ligne sur le portail du réseau des CRB tropicaux français http://intertrop.antilles.inrae.fr/Portail/pages/crb-vatel. En moyenne chaque année, 300 accessions sont distribuées à une trentaine de clients, à des fins professionnelles pour l'agriculture, l'éducation, la recherche, ou récréatives.

Le CRB Vatel est labellisé BRC par le label GIS IBiSA depuis 2009. Les

collections sont gérées selon une démarche d'assurance qualité et certifiées

selon la norme française NFS 96-900 depuis 2016, puis ISO 9001-2015 depuis 2019.

CRB LÉGUMES *(FIGURE 1K)*

Le Centre de Ressources Biologiques légumes (CRB-Leg) fait partie de l'unité de recherche INRAE-GAFL située à Avignon, en Provence (région PACA) (https://gafl.paca.hub.inrae.fr/crb-legumes). Il conserve plus de 10 000 accessions réparties dans cinq collections, comme suit :

- Aubergine (*Solanum melongena* et apparentés, 2 333 accessions) : la collection nationale fait partie du système multilatéral puisque l'espèce figure à l'Annexe 1 du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA) ;
- Piment (*Capsicum annuum* et espèces apparentées, 2 173 accessions) ;
- Tomate (*Solanum lycopersicum* et espèces apparentées, 3 778 accessions) ;
- Melon (*Cucumis melo*, 2 332 accessions) ;
- Laitue (*Lactuca* spp., 948 accessions).

Les ressources génétiques détenues par le CRB-Leg sont principalement utilisées par les institutions publiques françaises (recherche et développement) et par les sélectionneurs des entreprises semencières, qui collaborent activement entre eux. Les accessions sont régénérées et décrites par des associations de réseaux de partenariats publics et privés. Pour chaque culture, les collections sont divisées en deux parties : i) la collection nationale librement accessible, et ii) la collection de réseau, dont l'accès est soumis à des conditions spécifiques. Le CRB-Leg coordonne trois réseaux : *Solanaceae* (trois cultures), melon et laitue. Il fournit également des échantillons gratuits aux chercheurs d'institutions publiques étrangères, aux cultivateurs, aux ONG et à d'autres utilisateurs de bonne foi qui demandent les accessions par l'intermédiaire de la base de données de l'INRAE (https://urgi.versailles.INRAE.fr/siregal/siregal/grc.do). Cette base de données contient les données de passeport et les descriptions de chaque accession. Elle est reliée à d'autres bases de données telles que Florilège (base de données nationale) et Eurisco (base de données européenne).

Le CRB-Leg a pour mission d'effectuer des descriptions morphologiques en plein champ ou en serre. Historiquement, cette activité a surtout porté sur les caractères liés au produit récolté (fruits ou feuilles). L'évaluation s'est jusqu'à présent concentrée sur la résistance aux pathogènes et la qualité des fruits. Les scientifiques du GAFL développent des programmes de recherche pour inclure les caractéristiques des racines dans les descriptions des plantes. Les collections patrimoniales et les ressources génétiques scientifiques (populations en ségrégation, mutants, etc.) du CRB-Leg sont utilisées pour des sujets de recherche tels que la résistance au sel chez la tomate (projet ERA-NET sur les racines, https://www.suscrop.eu/projects-first-call/root) ou la résistance au *Bremia* chez la laitue (https://www.ecpgr.cgiar.org/european-evaluation-network-eva/eva-networks/lettuce). Les ressources génétiques du BRC-Leg font partie du projet européen G2PSol sur la biodiversité des Solanacées (www.g2p-sol.eu).

Toutes les graines sont conservées à 5°C sous humidité contrôlée, et le travail quotidien comprend le transfert des collections à -20°C pour le stockage à long terme. Le CRB-Leg s'oriente également vers une certification de qualité ISO 9001.

4. Conclusion

Au cours des dernières années, et plus particulièrement depuis la mise en œuvre de la CDB, du TIRPAA et du Protocole de Nagoya, les détenteurs de ressources génétiques en France se sont organisés autour de la constitution de réseaux permettant la prise en compte globale de problématiques communes et le partage aisé d'informations.

La gestion des ressources génétiques horticoles françaises a bénéficié des récentes avancées technologiques qui ont permis l'acquisition de données en masse, notamment dans les domaines du génotypage et du phénotypage, enrichissant ainsi la valeur intrinsèque des ressources génétiques conservées. Les CRB et collections horticoles jouent désormais un rôle essentiel dans la recherche agronomique française, notamment pour la préservation et la valorisation de l'agrobiodiversité et la transition agro-écologique de l'agriculture.

Comme pour la plupart des ressources génétiques agricoles, le financement public de la conservation de la diversité horticole est souvent précaire. Cependant, il tend à se pérenniser depuis quelques années grâce à une prise de conscience institutionnelle de son importance cruciale pour l'alimentation de demain.

Les ressources génétiques horticoles conservées par les CRB français sont sous la responsabilité d'organismes publics nationaux qui les utilisent pour la recherche et le développement agricole. Elles sont également largement utilisées dans les programmes de sélection et d'amélioration variétale menés par le secteur privé des semences et des plantes. Les CRB horticoles français ont contribué de manière particulièrement significative au développement de la banane, de la clémentine, de la pomme et des Solanacées et Apiacées potagères par plusieurs semenciers.

Enfin, les CRB français situés en milieu tropical dans les départements et territoires d'outre-mer jouent un rôle essentiel dans la préservation des ressources génétiques agricoles tropicales. Ils contribuent à la sécurité et à la souveraineté alimentaires de territoires particulièrement menacés par le changement climatique et l'uniformisation des habitudes alimentaires. Ce point sera débattu lors du Sommet des Nations Unies sur les systèmes alimentaires en octobre 2021, mais aussi lors du 31e Congrès international d'horticulture (www.ihc2022.org) qui se tiendra à Angers (France) du 14 au 20 août 2022.

RÉFÉRENCES

Ahmed, D., Comte, A., Curk, F., Costantino, G., Luro, F., Dereeper, A., Mournet, P., Froelicher, Y., and Ollitrault, P. (2019). Genotyping by sequencing can reveal the complex mosaic genomes in gene pools resulting from reticulate evolution; a case study in diploid and polyploid citrus. Annals of Botany 123 (7), 1231–1251. https://doi.org/10.1093/aob/mcz029

Aissiou, F., Laperche, A., Falentin, C., Lodé, M., Deniot, G., Boutet, G., Régnier, F., Trotoux, G., Huteau, V., Coriton, O., et al. (2018). A novel *Brassica rapa* L. genetic diversity found in Algeria. Euphytica 214 (12), 241. https://doi.org/10.1007/s10681-018-2318-9

Andriamihaja, C.F., Ramarosandratana, A.V., Grisoni, M., Jeannoda, V., and Besse, P. (2020). The Leafless Vanilla species-complex from the South-West Indian Ocean region: a taxonomic puzzle and a model for orchid evolution and conservation research. Diversity 12, 443. https://doi.org/10.3390/d12120443

Arnau, G., Bhattacharjee, R., Sheela, M.N., Chair, H., Malapa, R., Lebot, V., Abraham, K., Perrier, X., Pétro, D., Penet, L., and Pavis, C. (2017). Understanding the genetic diversity and population structure of yam (Dioscorea alata L.) using microsatellite markers. PLoS One 12 (3), e0174150. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174150

Bernard, A., Barreneche, T., Donkpegan, A., Lheureux, F., and Dirlewanger, E. (2020). Comparison of structure analyses and core collections for the management of walnut genetic resources. Tree Genetics & Genomes 16, 76. https://doi.org/10.1007/s11295-020-01469-5

Bonhomme, V., Picq, S., Ivorra, S., Evin, A., Pastor, T., Bacilieri, R., Lacombe, T., Figueiral, I., Terral, J.F., and Bouby, L. (2020). Eco-evo-devo implications and archaeobiological perspectives of trait covariance in fruits of wild and domesticated grapevines. Plos One 15 (11), e0239863. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239863

Bouétard, A., Lefeuvre, P., Gigant, R.L., Bory, S., Pignal, M., Besse, P., and Grisoni, M. (2010). Evidence of transoceanic dispersion of the genus Vanilla based on plastid DNA phylogenetic analysis. Molecular Phylogenetics and Evolution 55, 621-630. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.01.021

Candresse, T., Marais, A., Faure, C., Lefebvre, M., Lacombe, T., and Boursiquot, J.M. (2020). Complete genome sequence of a novel grapevine-infecting member of the genus Polerovirus, grapevine polerovirus 1. Archives of Virology 165 (7), 1683–1685. https://doi.org/10.1007/s00705-020-04640-4

Chevalier, W., Sitti-Anlati, M., Medeiros Netto Ottoni, M., Dubois-Laurent, C., Huet, S., Aubert, C., Desnoues, E., Navez, B., Cottet, V., et al. (2021). Multisite evaluation of phenotypic plasticity for specialized metabolites, some involved in carrot quality and disease resistance. PLoS ONE 16 (4), e0249613. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249613

Cirilli, M., Micali, S., Aranzana, M.J., Arus, P., Babini, A., Barreneche, T., Bink, M.C., Cantin, C.M., Ciacciulli, A., Cos-Terrer, J., et al. (2020). The multi-site PeachRefPop collection: a true cultural heritage and international scientific tool for fruit trees. Plant Physiology 184, 632–646. https://doi.org/10.1104/pp.19.01412

Curk, F., Ollitrault, F., Garcia-Lor, A., Luro, F., Navarro, L., and Ollitrault, P. (2016). Phylogenetic origin of limes and lemons revealed by cytoplasmic and nuclear markers. Annals of Botany 117, 565–583. https://doi.org/10.1093/aob/mcw005

Daunay, M.C., Allender, C., Astley, D., Bas, N., van Dooijeweert, W., van

Treuren, R., Branca, F., Díez, M.J., Geoffriau, E., Keller, E.R.J., et al. (2011). More efficient conservation and use of vegetable genetic resources in Europe: ECPGR achievements and perspectives. Acta Horticulturae 918, 405–417. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.918.52

Dumas, V., Saurin, N., Destrac-Irvine, A., Dedet, S., Veyret, M., Marchal, C., Ojeda, H., Van Leeuwen, C., and Duchêne, E. (2020). Influence of grape juice extraction methods on basic analytical parameters. Vitis 59, 77–83. https://doi.org/10.5073/vitis.2020.59.77-83

El Bakkali, A., Essalouh, L., Tollon, C., Rivallan, R., Mournet, P., Moukhli, A., Zaher, H., Mekkaoui, A., Hadidou, A., Sikaoui, L., and Khadari, B. (2019). Characterization of worldwide olive germplasm banks of Marrakech (Morocco) and Cordoba (Spain): towards management and use of olive germplasm in breeding programs. PLoS One 14 (10), e0223716. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223716

Esnault, F., Solano, J., Perretant, M., Hervé, M., Label, A., Pellé, R., Dantec, J.P., Boutet, G., Brabant, P., and Chauvin, J.E. (2014). Genetic diversity analysis of a potato (Solanum tuberosum L.) collection including Chiloé Island landraces and a large panel of worldwide cultivars. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization 12 (1), 74–82. https://doi.org/10.1017/S1479262113000300

Esnault, F., Pellé, R., Dantec, J.P., Bérard, A., Le Paslier, M.C., and Chauvin, J.E. (2016). Development of a potato cultivar (Solanum tuberosum L.) core collection, a valuable tool to prospect genetic variation for novel traits. Potato Research 59 (4), 329–343. https://doi.org/10.1007/s11540-016-9332-x

Geoffriau, E. (2020). Genetic diversity and main carrot types. In Carrots and Related Apiaceae Crops, 2nd edn, E. Geoffriau, and P.W. Simon, eds. (CABI), p.47–60.

Khadari, B., and El Bakkali, A. (2018). Primary selection and secondary diversification: two key processes in the history of olive domestication. International Journal of Agronomy ID 5607903. https://doi.org/10.1155/2018/5607903

Khadari, B., El Bakkali, A., Essalouh, L., Tollon, C., Pinatel, C., and Besnard, G. (2019). Cultivated olive diversification at local and regional scales: evidence from the genetic characterization of French genetic resources. Front. Plant Sci. 10, 1593. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01593

Lassois, L., Denancé, C., Ravon, E., Guyader, A., Guisnel, R., Hibrand-Saint-Oyant, L., Poncet, C., Lasserre-Zuber, P., Feugey, L., and Durel, C.-E. (2016). Genetic diversity, population structure, parentage analysis, and construction of core collections in the French apple germplasm based on SSR markers. Plant Molecular Biology Reporter 34, 827–844. https://doi.org/10.1007/s11105-015-0966-7

Lepers-Andrzejewski, S., Causse, S., Caromel, B., Wong, M., and Dron, M. (2012). Genetic linkage map and diversity analysis of Tahitian vanilla (Vanilla ×tahitensis, Orchidaceae). Crop Science 52, 795–806.

Liorzou, M., Pernet, A., Li, S., Chastellier, A., Thouroude, T., Michel, G., Malécot, V., Gaillard, S., Briée, C., Foucher, F., et al. (2016). Nineteenth century French rose (Rosa sp.) germplasm shows a shift over time from a European to an Asian genetic background. J. Exp. Bot. 67, 4711–4725. https://doi.org/10.1093/jxb/erw269

Lopez Arias, D.C., Chastellier, A., Thouroude T., Bradeen, J., Van Eck, L., De Oliveira, Y., Paillar, S., Foucher, F., Hibrand-Saint Oyant, L., and Soufflet-Freslon, V. (2020). Characterization of black spot resistance in diploid roses with QTL detection, meta-analysis and candidate-gene identification. Theor. Appl. Genet. 133 (12), 3299–3321. https://doi.org/10.1007/s00122-020-03670-5

Lubinsky, P., Cameron, K.M., Molina, M.C., Wong, M., Lepers-Andrzejewski, S., Gomez-Pompa, A., and Kim, S.C. (2008). Neotropical roots of a polynesian spice: the hybrid origin of Tahitian vanilla, Vanilla tahitensis (Orchidaceae). American Journal of Botany 95 (8), 1040–1047.

Luro, F., Bloquel, E., Tomu, B., Costantino, G., Tur, I., Riolacci, S., Varamo, F., Ollitrault, P., Froelicher, Y., Curk, F., and Pailly, O. (2017). The INRAE-CIRAD citrus germplasm collection of San Giuliano, Corsica. In AGRUMED: Archaeology and History of Citrus Fruit in the Mediterranean: Acclimatization, Diversifications, Uses, V. Zech-Matterne, and G. Fiorentino, eds. (Naples: Publications du Centre Jean Bérard), p.243–261. ISBN: 9782918887775. https://doi.org/10.4000/books.pcjb.2107

Martin, G., Cardi, C., Sarah, G., Ricci, S., Jenny, C., Fondi, E., Perrier, X., Glaszmann J.-C., D'Hont, A., and Yahiaoui, N. (2020). Genome ancestry mosaics reveal multiple and cryptic contributors to cultivated banana. The Plant Journal 102, 1008–1025. https://doi.org/10.1111/tpj.14683

Martinez Flores, F., Crespo, M.B., Geoffriau, E., Allender, C., Ruess, H., Arbizu, C., Simon, P., and Spooner, D.M. (2019). Extended studies of interspecific relationships in Daucus (Apiaceae) using DNA sequences from ten nuclear orthologues. Botanical Journal of the Linnean Society 191, 164–187.

Mougin, C., Artige, E., Marchand, F., and Mondy, S. (2018). BRC4Env, a network of Biological Resource Centres for research in environmental and agricultural sciences. Environ. Sci. Pollut. Res. 25, 33849–33857. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1973-7

Muranty, H., Denance, C., Feugey, L., Crepin, J.L., Barbier, Y., Tartarini, S., Ordidge, M., Troggio, M., Lateur, M., Nybom, H., et al. (2020). Using whole-genome SNP data to reconstruct a large multi-generation pedigree in apple germplasm. BMC Plant Biol. 20. https://doi.org/10.1186/s12870-019-2171-6

Pavis, C. (2015). Towards Safer Plant Genetic Resources through improved viral diagnostics (SafePGR). Final outreach report. https://hal.INRAE.fr/hal-02800498

Roux-Cuvelier, M. (2017). Contribution à la conservation et la valorisation de l'agrobiodiversité à l'île de la Réunion. Thèse de doctorat (Montpellier SupAgro), pp.138.

Salinier, J., Daunay, M.-C., Goussopoulos, J., Gros, C., and Lefebvre, V. (2019a). The fascinating diversity of pepper and eggplant collections held at the INRAE centre for vegetable germplasm. Paper presented at: Innovations of Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant. 17th Eucarpia Meeting on Capsicum and Eggplant (Avignon, France: INRAE).

Salinier, J., Daunay, M.-C., Talmot, V., Lecarpentier, C., Pagès, L., Bardel, A., Fournier, C., Torres, M., and Stevens, R. (2019b). Root architectural trait diversity in aubergine (Solanum melongena L.) and related species and correlations with plant biomass. Crop Breed. Genet. Genom. 1, e190011. https://doi.org/10.20900/cbgg20190011

Umber, M., Filloux, D., Gélabale, S., Gomez, R.-M., Marais, A., Gallet, S., Gamiette, F., Pavis, C., and Teycheney, P.-Y. (2020). Molecular viral diagnosis and sanitation of yam genetic resources: implications for safe yam germplasm exchange. Viruses 12, 1101. https://doi.org/10.3390/v12101101

À PROPOS DES AUTEURS

Florence esnault is engineer at INRAE, Unit Institute of Genetics, Environment and Plant Protection, Ploudaniel, France. She is specialized in potato genetics and management of genetic resources
E-mail : florence.esnault@inrae.fr

La sélection des roses en France : une longue et belle histoire

Jérémy Clotault, Fabrice Foucher, Agnès Grapin, Laurence Hibrand-Saint Oyant, Valéry Malécot, Sophie Paillard, Alix Pernet, Vanessa Soufflet-Freslon et Cristiana Oghina-Pavie.

Une multitude d'espèces sont utilisées en tant que plantes ornementales pour l'embellissement des espaces publics, des jardins, des balcons, des habitations et pour la production de fleurs coupées. Le genre *Rosa*, en raison de sa popularité, de son histoire et de la grande diversité de ses caractéristiques (forme de la fleur, couleur, parfum, architecture) est considéré comme la "reine des fleurs". La diversité d'usages (fleur coupée, plante d'intérieur miniature, arbuste de jardin, plante grimpante, mais aussi parfum et certaines traditions culinaires) peut expliquer sa grande valeur économique qui lui a valu le titre de fleur préférée du monde.

Le genre *Rosa*, composé de 150 à 200 espèces (Wissemann et Ritz, 2007) bien réparties dans la région boréale circumpolaire, présente une histoire évolutive complexe. Au moins 30 000 cultivars ont été répertoriés (Roberts et al., 2003), et nombre d'entre eux ont une origine française (*Figure 1*).

En France, la filière rose implique de nombreux acteurs, dont des organismes privés (obtenteurs, producteurs) et publics (équipes de recherche et instituts techniques horticoles).

1. La rose en France

LES ESPÈCES INDIGÈNES FRANÇAISES

Un peu moins de 20 espèces sauvages de *Rosa* sont endémiques en France, auxquelles s'ajoute l'agrégat très complexe *Rosa canina* pour lequel la délimitation des taxons est particulièrement complexe.

Ces espèces appartiennent au sous-genre *Rosa* et sont regroupées principalement dans la section *Caninae*, bien que certaines soient rattachées aux sections *Rosa* ou *Gallicanae*. Quelques taxons ornementaux se sont échappés des cultures, notamment *Rosa banksiae W.T.Aiton* et *Rosa rugosa Thunb.* et l'espèce la plus caractéristique est *Rosa gallica* L., protégée au niveau national mais aussi source de nombreux cultivars et hybrides anciens cultivés. Les roses sont probablement plus nombreuses en France du fait d'une forte histoire française dans la sélection variétale du rosier.

CONSOMMATION

La rose est de loin le premier produit ornemental en France. Plus de la moitié des sommes dépensées en fleurs coupées par les Français le sont pour les roses (376,3 millions d'euros en 2018). C'est la fleur phare de la fête des mères, de la Saint-Valentin, mais aussi de Noël. La rose est également la première plante achetée pour les jardins, avec

une valeur de 50,2 millions d'euros en 2018. Cela représente près de 5 millions de rosiers achetés par les particuliers, auxquels il faut ajouter les rosiers destinés aux aménagements paysagers des collectivités (environ 2 millions). Les rosiers miniatures sont dans le top 3 des plantes d'intérieur (2,8 millions de pots pour 23,2 millions d'euros) (https://www.valhor.fr/etudes-statistiques/etudes-de-marche-et-dopinion/infographies-vegetaux/). Ces demandes sont insuffisamment couvertes par la production française. En effet, la balance commerciale est fortement déficitaire : environ -122 millions d'euros pour les fleurs coupées et -10 millions d'euros pour les rosiers an-1 ces trois dernières années (https://comtrade.un.org/data/).

Figure 1
A) 'Aimée Vibert' (1824, Vibert),
B) 'Belvédère' (1829, Jacques),
C) 'Safrano' (1839, Beauregard),
D) 'Triomphe de l'Exposition' (1855, Margottin),
E) 'La France' (1867, Guillot),
F) 'Etoile Luisante' (1918, Turbat),
G) 'Raymond Privat' (1935, Privat),
H) 'Papa Meilland' (MEIcesar, 1963, Meilland),
i) 'Paul Bocuse' (MASpaujeu, 1997, Massad),
J) 'Red intuition' (DELstriro, 1999, Delbard),
K) 'Brocéliande' (ADAterhuit 2000, Adam),
L) 'Jardin de Grandville' (EVanrat, 2010, André Eve) (Credit: 1a) Cristiana Oghina-Pavie, UA, 1b-l) Agnès Grapin, Institut Agro).

LA PRODUCTION

La production de roses de jardin domine et représente environ 800 ha en France, avec une grande zone de production à Doué-en-Anjou, près d'Angers *(Encadré 1)*. La production de fleurs coupées, estimée à 190 millions de tiges en 2007, est essentiellement concentrée sur la côte méditerranéenne. L'Interprofession française de l'horticulture ornementale, de la fleuristerie et du paysage (Val'Hor) est une organisation professionnelle, reconnue par l'État français, qui regroupe l'ensemble des entreprises de la filière ornementale. Elle permet de financer des actions collectives qui contribuent au dynamisme de la filière. En 2015, la démarche «Label Rouge» (garantissant un niveau de qualité supérieur à celui d'autres produits comparables) a été mise en place pour la vente de rosiers (https://www.qualite-plantes.org/les-plantes-label-rouge/rosiers-label-rouge.html). Une cinquantaine de cultivars sont considérés comme éligibles au label. La mise en place du label «Fleurs de France» en 2017 permet de certifier l'origine et le processus de production éco-responsable, répondant au développement d'un mouvement «slow flower».

La production de roses en France serait incomplète si l'on ne mentionnait pas au moins la culture de *Rosa x centifolia* pour la parfumerie de luxe, qui fait partie des savoir-faire liés au parfum dans le Pays de Grasse (Côte d'Azur), reconnu comme patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'Unesco.

ENCADRÉ 1

La production à Doué-en-Anjou, bassin de production de roses de jardin depuis plus de deux siècles

Doué-en-Anjou (entre Angers et Saumur) est le leader en France. En 2011, environ 80 producteurs (500 ha) ont produit près de 5 millions de rosiers an-1, soit environ 15% de la production européenne de roses de jardin. La production de Doué bénéficie d'un terroir local et d'un savoir-faire particulier dans la production de rosiers greffés sur porte-greffe *Rosa multiflora* et sur porte-greffe *Rosa* « Laxa ». La qualité des roses cultivées dans la région est particulièrement adaptée à la production de roses de jardin en pots. Le nombre de variétés produit dans la région avoisine le millier. La recherche de nouvelles variétés et de nouvelles techniques culturales est permanente pour s'adapter aux nouvelles exigences du marché : variétés naturellement résistantes et cultivées dans le respect de l'environnement. En 2018, un collectif de sept producteurs de roses (Bardet, Bon Temps, Chastel, Harpin, La Saulaie, Leroi et Oriot) a créé la société d'édition « Select Roses SAS » pour assurer la promotion des variétés de roses qui seront exclusivement « Douessines ».

Christophe Travers, gérant des Pépinières de la Saulaie, recevant les participants du VIIe Symposium international sur la recherche et la culture de la rose en 2017. © A. Grapin

PAROLES DE PRODUCTEURS

"Je dirige les Pépinières Chastel depuis 2015. J'ai à cœur de moderniser la production de l'entreprise tout en maintenant la qualité qui fait sa réputation depuis près de 30 ans. Aux Pépinières Chastel, nous cultivons plus de 600 variétés et maintenons une expertise dans la production de rosiers tiges et de rosiers pleureurs. Tout est mis en œuvre pour assurer une production de qualité à partir des meilleures variétés, avec un itinéraire cultural adapté et en constante évolution pour réduire notre impact sur l'environnement".

Jean-Loup Pohu, www.pepinieres-chastel.com ©Pépinière Chastel

LA SÉLECTION

La sélection des rosiers est particulièrement dynamique en France.

La sélection des rosiers est particulièrement dynamique en France. Actuellement, une vingtaine d'obtenteurs/créateurs sont répertoriés (https://societefrancaisedesroses.asso.fr/fr/filiere_roses/obtenteurs.htm), avec des profils divers. Certains sont les successeurs directs (Ducher) ou indirects (via des rachats, par exemple Guillot avec la société Sirphe) de familles de rosiéristes du 19ème ou du début du 20e siècle (*Encadré 2*). D'autres, déjà connus, ont obtenu leurs premières créations au cours des 30 dernières années (Adam, Félix, Lebrun, par exemple). Les activités de sélection des rosiers peuvent être partiellement suivies en étudiant le nombre de certificats d'obtentions végétales (COV) présentes dans la base de données Variety Finder de l'OCVV (Office communautaire des variétés végétales, siège à Angers, France).

Depuis 2001, une moyenne de 20 COV DPI français a été enregistrée pour Rosa sp. an-1, ce qui représente 15 % des COV de l'OCVV dans le monde. La France est donc le quatrième pays sélectionneur, après les Pays-Bas, l'Allemagne et le Danemark, avec une très forte spécialisation dans la sélection des roses de jardin (Widehem et Plottu, 2020).

La sélection des roses est un processus long qui peut durer jusqu'à dix ans (généralement entre 8 et 9 ans) entre la première hybridation et la commercialisation d'une nouvelle variété *(Figure 2)*. Les programmes de sélection des rosiers sont divisés en deux phases : 1) la sélection parmi un grand nombre de plants en serre pendant les deux premières années, et 2) les tests de performance et la sélection en plein champ pour les rosiers de jardin à partir de la troisième année. Au cours de la première année, les obtenteurs sélectionnent sur des critères de croissance, recherchent des caractéristiques innovantes qui ne sont pas présentes dans les variétés commercialisées et des caractéristiques florales telles que la couleur, la longévité de floraison, la forme de la fleur et la fanaison (Zlesak et al., 2017). Au cours des années suivantes, les obtenteurs se concentrent sur les caractéristiques florales, le développement et l'adaptabilité des plantes, la résistance aux maladies et aux ravageurs, la tolérance à divers stress abiotiques et la capacité de multiplication. Aujourd'hui, la sélection des rosiers de jardin est principalement axée sur les plantes résistantes aux ravageurs et notamment la maladie de la tache noire due à un champignon qui endommage le feuillage, réduisant ainsi l'esthétique de la plante (Leus et al., 2018).

Les ressources génétiques endémiques sauvages des roses sont conservées en France par les «Conservatoires botaniques nationaux». Des variétés sont conservées par des roseraies publiques ou privées, comme la Roseraie du Val de Marne à l'Haÿ-les-Roses près de Paris, la Roseraie Loubert à Gennes-Val de Loire, à 30 km d'Angers, la Roseraie du parc floral de la Beaujoire à Nantes, et la Roseraie du jardin botanique de la ville de Lyon. Les ressources scientifiques telles que des populations issues de croisement, pour la cartographie QTL, et l'ADN de tous les types d'accessions (sauvages, cultivées, scientifiques) sont conservées par le CRB «Fruits à pépins et roses» décrit par Roux-Cuvelier et al. (2021).

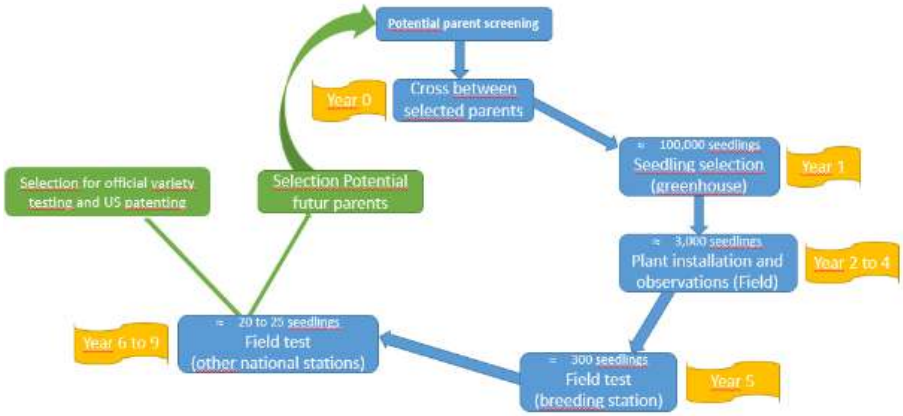


Figure 2
Schéma de sélection des roses de jardin (recommandations de l'obtenteur français).

Les roseraies, en plus de préserver les ressources génétiques patrimoniales, participent également au processus de sélection en organisant des concours entre les nouvelles variétés proposées par les obtenteurs. Chaque concours a ses propres spécificités. Les concours se distinguent en fonction du lieu et des dates de notations. Les concours sur un seul site sont organisés par les roseraies de Paris (Bagatelle, *Figure 3)*, Lyon, Nantes et Orléans. Dans tous les cas, les plantes sont notées par une commission permanente à des moments différents pendant deux ans. Les trois premières villes organisent en juin la notation finale par un grand jury (Bagatelle et Lyon) ou par un jury de parfumeurs (Nantes). Orléans invite en septembre un grand jury pour la notation finale, ce concours distingue donc surtout les variétés remontantes. Un concours multisite est organisé par la SNHF (Société Nationale d'Horticulture de France). Les nouvelles accessions de roses sont plantées dans sept roseraies différentes à travers la France, reflétant différents types de conditions climatiques. Seules les nouvelles variétés commercialisées depuis moins de cinq ans peuvent être présentées par les obtenteurs. Les plantes sont évaluées à toutes les saisons pendant deux ans par des personnes spécialisées.

Figure 3
Bagatelle *(Paris)* en juin 2021 lors du Concours International de Roses Nouvelles. Il s'agit du plus ancien concours international de roses, la première édition ayant eu lieu en 1907.
©Tatiana Thouroude, INRAE

ENCADRÉ 2

Deux sociétés de sélection de roses bien connues en France

C'est à Malicorne, au centre de la France, que les variétés de roses sont créées par la pépinière Georges Delbard. Chaque année, plus de 30 000 fleurs sont pollinisées manuellement entre avril et juin pour créer un total de 80 000 nouveaux génotypes de roses pour fleurs coupées et 60 000 pour les rosiers de jardin. S'ensuit une période de 8 à 10 ans au cours de laquelle les roses seront soigneusement observées dans différentes conditions de sol et de climat et sélectionnées pour aboutir à une douzaine de variétés qui seront commercialisées. Depuis 1935, la société Georges Delbard est à l'origine de nombreuses variétés à succès. Certaines d'entre elles ont été primées au niveau national et international, comme « Château de Cheverny® » Deljaupar, lauréate du Grand Prix SNHF des roses toutes catégories en 2017 et élue « Rose of the year 2021 » par la prestigieuse Royal Horticulture Society. Dans une logique d'innovation et d'amélioration continue, la société Georges Delbard entretient une relation étroite avec la recherche publique. En particulier, en collaborant à des projets de recherche, l'entreprise vise une gestion plus durable des pathogènes (projet Robio) ou à gagner en précision dans son programme d'innovation variétale en utilisant les technologies modernes de marqueurs moléculaires avec l'appui scientifique de l'INRAE.

Georges Delbard
PÉPINIÈRES ET ROSERAIES

« Chateau de Cheverny® » Deljaupar, 2014.
©Georges Delbard Pépinières et Roseraies

Arnauld Delbard petit-fils du fondateur.
©Georges Delbard Pépinières et Roseraies

La rose est la fleur emblématique du Groupe Meilland. Depuis six générations, le groupe Meilland travaille avec passion sur les couleurs, les parfums, les formes, la résistance aux pathogènes pour rendre la rose toujours plus séduisante. Dans le centre du Cannet des Maures (France), les équipes de recherche élaborent chaque année des programmes de sélection pour améliorer les qualités des variétés. Elles s'appuient sur une longue expérience, un grand savoir-faire et un vivier exceptionnel de géniteurs. Chaque année, entre avril et fin juillet, 20 000 à 30 000 fleurs sont fécondées manuellement, correspondant à 2 000 et 2 500 croisements. Les fruits récoltés permettent d'obtenir environ 150 000 à 200 000 plants. Les plantes obtenues sont ensuite testées dans une quinzaine de stations d'essais, dans des conditions climatiques différentes. Au final, seule une dizaine de variétés est commercialisée : un processus extrêmement exigeant récompensé par le fait que les créations Meilland remportent chaque année des prix prestigieux lors de concours internationaux. Pour valoriser et sécuriser les investissements dans la recherche, et ainsi continuer à innover, ils veillent à protéger leurs créations. Les variétés de Meilland font l'objet de brevets, de Certificats d'Obtention Végétale et de marques pour assurer leur promotion dans plus de 40 pays. A ce jour, Meilland détient plus de 1000 titres de protection et un portefeuille de 500 marques.

Line Renaud' MEIclusif, 2005.
©Meilland Roses & Creation

Réunion de sélection dans un champ d'essai en 2019.
©Meilland Roses & Création

RECHERCHE SUR LA GÉNÉTIQUE ET LA SÉLECTION DES ROSES À ANGERS

En France, de nombreux acteurs publics et privés travaillent sur la recherche et le développement comme à Lyon (sur la génomique et le développement floral) et à Saint-Etienne (sur les voies métaboliques contrôlant la production de parfum), ainsi qu'à Strasbourg avec le jardin expérimental des Erlen à Colmar.

Depuis 20 ans, l'Institut de Recherche de l'Horticulture et des Semences (IRHS) à Angers, (https://www6.angers-nantes.inrae.fr/irhs) développe avec l'équipe GDO (Génétique et Diversité des plantes ornementales) un projet génétique pour étudier les impacts de l'histoire évolutive, de la sélection naturelle et des activités humaines sur la diversité du genre *Rosa* et pour comprendre le déterminisme génétique de caractères d'intérêt ornemental.

LE GENRE *ROSA* : UN GENRE COMPLEXE POUR LES SYSTÉMATICIENS ET LES GÉNÉTICIENS

Le genre *Rosa* compte plus de 150 espèces décrites. Parmi ces 150 espèces, une dizaine aurait contribué aux roses cultivées que nous trouvons dans nos jardins ou chez nos fleuristes. En raison de processus génétiques complexes (polyploïdisation et hybridation interspécifique), l'histoire évolutive du genre Rosa est encore très mal connue. En utilisant une approche phylogénomique et une méthode pas-à-pas, nous avons pu reconstruire une phylogénie nucléaire et plastidique robuste du genre, et mettre en évidence les événements d'hybridation interspécifique et de polyploïdisation qui génèrent sa diversité actuelle. Nous avons ainsi résolu la plupart des relations évolutives entre les sous-genres, les sections et certaines espèces du genre *Rosa*. Pour certaines espèces, comme *R. gallica*, *R.* × *damascena* ou *R. canina*, nous avons proposé des scénarios d'hybridation en utilisant de larges données génomiques (Debray et al., 2021).

Historiquement, les roses de la section *Gallicanae* étaient cultivées principalement pour leur intérêt thérapeutique, dans des régions telles que Provins, près de Paris. La diversification des variétés de *Rosa gallica* s'est de plus en plus développée dans la première moitié du 19è siècle et a conduit à de nombreuses variétés bien séparées phénotypiquement et génétiquement des accessions sauvages des populations françaises (voir la section ci-dessous sur la sélection des roses au cours du 19è siècle). Les questions concernant l'origine de ces populations sauvages françaises et plus généralement sur la genèse (il s'agit d'un allotétraploïde putatif) et la diversité de l'espèce *Rosa gallica,* ainsi que sur l'évolution des relations entre les compartiments sauvages et cultivés à travers le travail des sélectionneurs font l'objet d'une thèse de doctorat de C. Pawula (2020-2023).

DIVERSITÉ ET SÉLECTION DES ROSIERS : UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

L'histoire de la sélection des roses en France au 19è siècle a été largement documentée à l'époque (monographies, catalogues, etc.). De nombreux rosiers obtenus pendant cette période sont encore conservés dans les roseraies. Ce double constat est à l'origine de l'approche interdisciplinaire qui réunit historiens (TEMOS, https://temos.cnrs.fr/) et biologistes (IRHS/GDO) pour étudier ensemble la création variétale des roses au cours du temps. Cette démarche a débuté avec le projet FloRHiGe (financé par la Région française des Pays de la Loire) consacré à la diversité des rosiers au 19ème siècle en France. Bien que les roses soient cultivées depuis l'Antiquité, l'intérêt pour leur diversification n'est apparu que vers 1800. La célèbre collection de roses réunie par Joséphine de Beauharnais à Malmaison en 1804-1815 (Joyaux, 2005), ainsi que les traités de jardinage, les écrits botaniques et les monographies illustrées, dont la luxueuse édition Les Roses de Redouté et Thory (1817-1824), ont favorisé une nouvelle perception de la diversité du genre Rosa et de son potentiel horticole. La popularité des roses a rapidement dépassé le goût de l'élite pour la collection de plantes et s'est transformée en un vaste phénomène économique et culturel : la rosomanie française. D'abord soutenue par les pépiniéristes hollandais, la culture des roses a pris une ampleur inégalée en France tout au long du 19ème siècle. Les obtenteurs français n'ont pas de « profil type ». Les plus réputés sont des pépiniéristes (Descemet, Vibert (encadré 3), Jacques, Noisette, Laffay, Verdier, Schwartz, Pernet-Ducher, Guillot ou des jardiniers en chef de jardins publics (Hardy), mais de nombreuses variétés à succès sont dues à des amateurs : propriétaires terriens, avocats, officiers en retraite, etc. Les connaisseurs, qu'ils soient cultivateurs amateurs ou marchands, ou bien juges des nouveautés dans les expositions horticoles, forment une société presque exclusivement masculine. Peu de rosiéristes femmes ont bénéficié d'une véritable reconnaissance de leur mérite. Il s'agit de veuves qui dirigent des établissements horticoles après le décès de leur mari, comme Marie Ducher et Marie-Louise Schwartz. La répartition géographique des obtenteurs français (*Figure 4*) a évolué au cours du 19ème siècle. Paris et sa région concentrent constamment un grand nombre de rosiéristes. Le Nord est une zone plus active dans la première moitié du siècle, tandis que le Sud ne le devient qu'après 1860. Angers était déjà un centre important dans les années 1820, toujours actif mais dépassé par Lyon dans la seconde moitié du siècle.

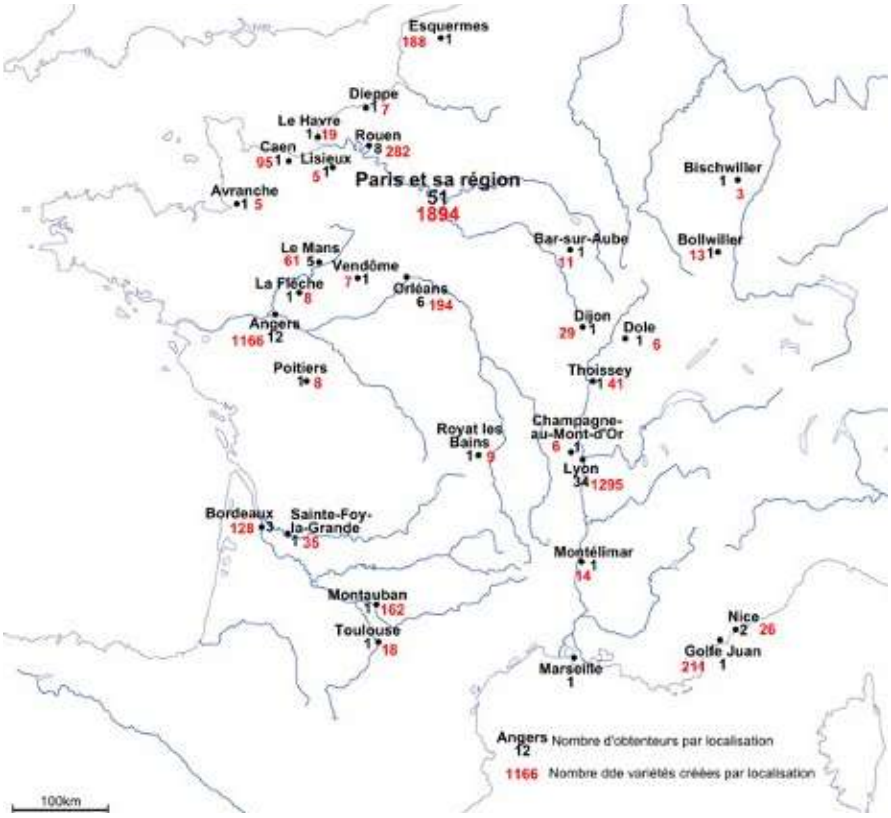


Figure 4
Répartition géographique des obtenteurs (en noir) / nombre de variétés (en rouge) en France au cours du 19e siècle, d'après Léon Simon et Pierre Cochet (1906). Cartographie d'Aurélie Hess.

ENCADRÉ 3

Jean-Pierre Vibert, un obtenteur français au 19e siècle

Jean-Pierre Vibert (1777-1866) est le premier pépiniériste français spécialisé dans la culture exclusive des roses. Ancien soldat de l'armée napoléonienne et quincaillier (Joyaux, 2001), il acquiert en 1814 et 1815 une partie de la collection de Jacques-Louis Descemet, composée de 250 espèces de roses différentes et de 10 000 plants. Vibert devint un rosiériste compétent et prospère. Il est l'obtenteur de roses le plus prolifique, avec plus de 500 variétés obtenues et nommées par lui, malgré les malheurs causés par l'infestation de sa collection par des larves de hannetons, qui l'obligea à déplacer sa pépinière dans plusieurs endroits près de Paris. En 1837, il s'installe à Angers, avant de céder sa pépinière à son jardinier en chef, Robert, en 1851. Vibert a également su décrire ses observations et sa pratique d'obtenteur dans des publications, ses écrits étant, dans la riche littérature sur les rosiers au 19e siècle, parmi les plus intéressants pour comprendre la démarche des praticiens.

LES MOTS DE VIBERT

« Oh, qu'il dût être heureux celui qui le premier, soit hasard, soit intention, ayant confié des semences à la terre, s'aperçut que la nature pouvait encore varier ses productions ou les améliorer ; mais pour obtenir de cette découverte quelques résultats moins incertains que ceux dus au hasard seul, que de temps on a dû employer ! Que d'études il a fallu faire, avant de parvenir à connaître une partie des causes d'un tel phénomène ! Modernes sybarites, que les apprêts ou l'attente d'un dîner peuvent occuper huit jours entiers, qui n'échappez à l'ennui de vous-mêmes qu'au milieu du tourbillon du grand-monde, non jamais vous ne concevrez de telles jouissances, jamais vous ne pourrez croire que des plaisirs si simples puissent être achetés par des années entières de soins assidus. Trop heureux encore si, pour prix d'un zèle aussi soutenu, la nature ne refuse pas à nos efforts la seule récompense que nous ambitionnons ! À la vue de tant de merveilles, que d'idées s'offrent à la pensée ! Quel étonnant spectacle pour l'homme qui sait observer, que ces jeux, ces écarts de la nature et cette inépuisable fécondité, provoqués par l'industrie, dont on ne peut assigner les limites ! ». (Vibert, 1824).

« Aimée Vibert » obtention de Jean-Pierre Vibert, 1828. Dessin d'Annica Bricogne dans Hippolyte Jamain, Eugène Forney, Les Roses. Histoire, culture, description, Rothschild, Paris, 1873, pl. 59, Bibliothèque nationale de France- Gallica.

Le projet FloRHiGe a également mis en évidence l'évolution des objectifs et des pratiques des horticulteurs au cours du siècle et le cheminement vers la recherche de la nouveauté par l'obtention de nouvelles variétés de roses. L'augmentation de la maîtrise technique de la pratique de l'hybridation (des semis aléatoires dans les années 1800 aux hybridations contrôlées à la fin du siècle) et surtout l'utilisation de géniteurs portant des caractères nouveaux ont entraîné des modifications importantes du phénotype des roses et un changement profond de leurs génotypes. Il a été montré que le fond génétique des roses hybrides européennes est progressivement passé d'un fond génétique proche de celui des roses européennes anciennes (Gallica, Damask) à un fond génétique proche de celui des roses chinoises, qui ont notamment donné la rose moderne avec une floraison perpétuelle (Liorzou et al., 2016). Une autre expérience d'interdisciplinarité a permis de développer avec des mathématiciens du LAREMA une approche de reconstruction de pedigrees, dans le contexte de rosiers à niveaux de ploïdie variables (Proïa et al., 2019), lors du projet PedRo, mené dans le cadre du programme régional « Objectif Végétal, Recherche, Éducation et Innovation en Pays de la Loire ».

RosesMonde, un récent projet interdisciplinaire (géographie, histoire, sociologie, économie, biologie), financé par l'Agence nationale de la recherche française (ANR), a permis d'élargir notre compréhension de l'histoire de la sélection des roses et, plus largement, du monde de la rose, pour la période contemporaine des 20^{e} et 21^{e} siècles. Au-delà des cultivars de roses, l'étude a également porté sur les lieux et les acteurs, dans un contexte de segmentation des marchés en fonction de l'usage des roses, de mondialisation et de standardisation de la production de roses et, plus récemment, de tendance à la patrimonialisation des roses. Le travail génétique a permis de comprendre comment la segmentation par usage et le calendrier de sélection ont structuré la diversité des roses de cette période.

DÉTERMINISME GÉNÉTIQUE ET COLLABORATIONS FRANÇAISES POUR COMPRENDRE LA RÉSISTANCE DU ROSIER À LA MALADIE DES TACHES NOIRES

En utilisant des descendances F1 et plus récemment une approche d'association pangénomique, plusieurs études génétiques ont été menées pour localiser sur les sept chromosomes du génome du rosier des gènes majeurs et des QTLs impliqués dans le déterminisme du nombre de pétales (Hibrand Saint-Oyant et al., 2018 ; Roman et al., 2015), la saisonnalité de la floraison (Iwata et al., 2012 ; Randoux et al., 2014 ; Soufflet-Freslon et al, 2021), la période de floraison (Kawamura et al., 2011, 2015 ; Roman et al., 2015), l'architecture florale (Kawamura et al., 2011), l'architecture végétale (Li-Marchetti et al, 2017), le parfum en collaboration avec l'université de St.Etienne (équipe S. Baudino au BvPAM) (Hibrand-Saint Oyant et al., 2019 ; Magnard et al., 2015 ; Sun et al., 2020), les aiguillons (Zhou et al., 2020) et la résistance à la maladie des taches noires (Lopez Arias et al., 2020) *(Figure 5)*.

Par ailleurs, l'équipe de l'IRHS a coordonné un vaste effort international pour obtenir la première séquence du génome du rosier *Rosa chinensis* « Old blush » (Hibrand Saint-Oyant et al., 2018), une ressource stratégique qui permettra d'accélérer la recherche génétique (identification de nouveaux gènes, étude de l'évolution du génome).

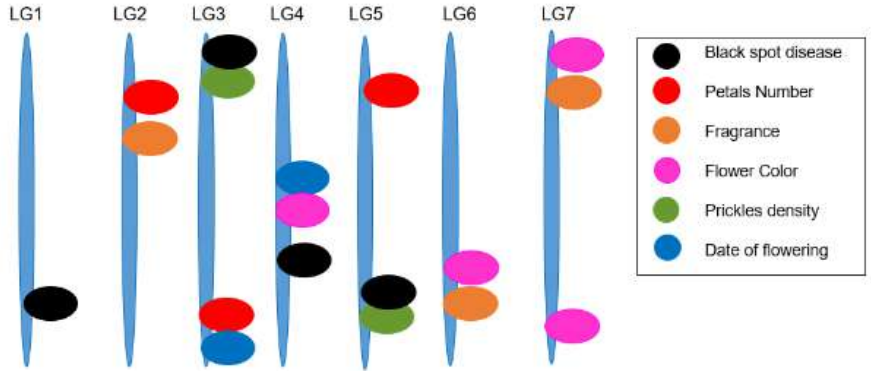


Figure 5
Représentation schématique des sept groupes de liaison du rosier avec la localisation des gènes impliqués dans les principaux caractères étudiés par l'équipe de l'IRHS.

Depuis plusieurs années, les sélectionneurs de roses considèrent la résistance aux maladies comme l'une des principales caractéristiques à améliorer dans les nouveaux cultivars. Le besoin de cultivars résistants est renforcé par la nécessité de réduire les produits chimiques dans l'environnement (plan Ecophyto). De nombreux produits chimiques sont interdits en France depuis 2017 pour les professionnels du paysage (villes, architectes paysagistes, forêts publiques, bords des routes et autoroutes) et depuis 2019 pour les jardiniers amateurs (Labbé, 2014).

Plusieurs collaborations entre des obtenteurs français, des producteurs français, l'institut technique Astredhor, Vegepolys Valley (https://www.vegepolys-valley.eu/), les équipes de recherche IRHS-GDO et IRHS-Ecofun ont permis de développer les connaissances sur la maladie des taches noires, l'une des plus importantes maladies des rosiers de jardin, au cours de plusieurs projets successifs fréquemment soutenus par le ministère français de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Le projet **Rosa fortissima** (2011-2013) a permis d'étudier le déterminisme génétique de la maladie des taches noires sur des populations croisées F1 dans différents environnements et pendant plusieurs années. Ces données ont été utilisées dans le cadre du doctorat de D. Lopez-Arias (2017-2020) pour localiser des QTLs (communs ou spécifiques à une année ou à un environnement). Notamment, une méta-analyse (Biomercator, http://moulon.INRAE.fr/logiciels/biomercator/) a révélé deux méta-QTLs situés sur les groupes de liaison 3 et 5 (Lopez Arias et al., 2020).

Un autre projet (**Belarosa**, 2015-2016) a permis la mise en place d'un essai en serre pour caractériser le niveau de résistance des cultivars de rosiers à la maladie des taches noires. Ce pathotest a d'abord été réalisé sur quelques cultivars de rosiers, connus pour être sensibles ou résistants, puis réalisé sur de nouvelles variétés en cours d'inscription (Soufflet-Freslon et al., 2019 ; Marolleau et al., 2020) *(Figure 6)*. Cet essai en conditions semi-contrôlées a été comparé au comportement des mêmes génotypes de rosiers cultivés en plein champ, ce qui a montré une bonne corrélation entre les observations en serre et au champ (Marolleau et al., 2020). Un projet de collection fongique («DIRO», 2014-2015) a contribué à créer une collection de 77 souches de *Diplocarpon rosae* (le champignon responsable de la maladie des taches noires), prélevées sur des roses cultivées et sauvages provenant principalement d'Asie et d'Europe *(Figure 7)*. Deux de ces souches ont été séquencées et ont permis de développer un ensemble de microsatellites pour étudier la diversité génétique du champignon (Marolleau et al., 2020) *(Figure 6)*.

Les études sur la maladie des taches noires se poursuivent avec le doctorat de L. Lambelin (2021-2024), qui a identifié des gènes candidats et des mécanismes pour les QTL de résistance identifiés par D. Lopez-Arias pendant son doctorat, et un projet de recherche en cours sur le développement de produits de biocontrôle («ROBIO», 2021-2024) et mené en collaboration avec des producteurs français, des sélectionneurs, Astredhor et Vegenov (https://www.vegenov.com/).

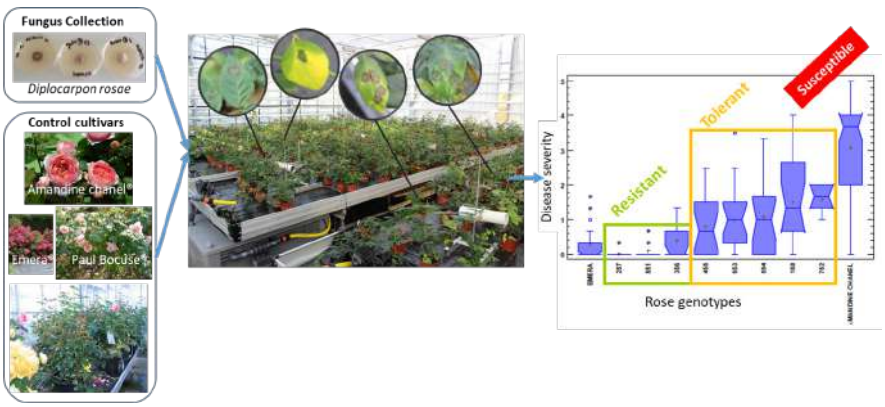


Figure 6
Essai sur plante entière en conditions semi-contrôlées (serre) pour évaluer la résistance des génotypes de rosiers (Soufflet-Freslon et al., 2019 ; Marolleau et al., 2020).

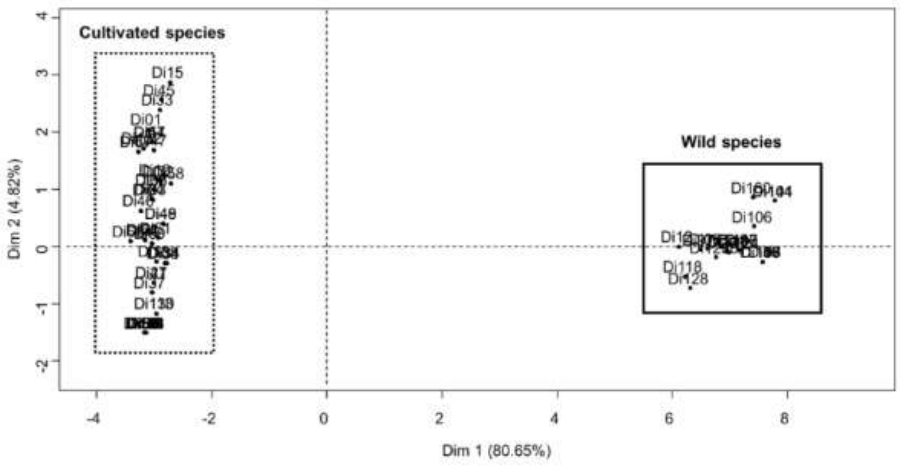


Figure 7
Diversité génétique de 77 souches de *Diplocarpon rosae* isolées à partir d'espèces de roses cultivées ou sauvages en Europe et en Asie. L'ACP a été réalisée à partir des données obtenues avec 27 marqueurs microsatellites (Soufflet-Freslon et al., 2019).

CONCLUSION

Certaines questions importantes dans le domaine de la recherche ne peuvent pas être abordées dans les plantes modèles habituelles (par exemple, Arabidopsis). Le rosier est un modèle intéressant pour étudier les caractéristiques ornementales (telles que la saisonnalité de la floraison ou le parfum floral), la résistance durable aux maladies chez les arbustes à multiplication végétative, et pour explorer l'évolution des plantes (sélections humaines et naturelles) dans le cadre d'approches interdisciplinaires (comme l'histoire et la génétique).

Le défi concernant les maladies foliaires est de développer une résistance durable en obtenant des plantes résistantes aux pathogènes afin de limiter l'utilisation de pesticides et de développer des alternatives à ceux-ci (comme les produits de biocontrôle, la résistance génétique). Ces projets visent à produire des connaissances fondamentales sur la diversification des ressources génétiques du rosier ainsi que des ressources sur les interactions plante-pathogène, mais aussi des connaissances opérationnelles pour les conservateurs de roseraies, les producteurs, les jardiniers et les sélectionneurs grâce aux collaborations étroites avec différents acteurs du secteur des roses (roseraies, instituts techniques, producteurs et sélectionneurs).

RÉFÉRENCES

Debray, K., Le Paslier, M.C., Bérard, A., Thouroude, T., Michel, G., Marie-Magdelaine, J., Bruneau, A., Foucher, F., and Malécot, V. (2021). Unveiling the patterns of reticulated evolutionary processes with phylogenomics: hybridization and polyploidy in the genus Rosa. Systematic Biology syab064. https://doi.org/10.1093/sysbio/syab064

Hibrand-Saint Oyant, L., Roccia, A., Cavel, E., Caissard, J.-C., Machenaud, J., Thouroude, T., Jeauffre, J., Bony, A., Dubois, A., Vergne, P., et al. (2019). Biosynthesis of 2-phenylethanol in rose petals is linked to the expression of one allele of RhPAAS. Plant Physiology 179 (3), 1064–1079. https://doi.org/10.1104/pp.18.01468

Hibrand Saint-Oyant, L., Ruttink, T., Hamama, L., Kirov, I., Lakhwani, D., Zhou, N.N., Bourke, P.M., Daccord, N., Leus, L., Schulz, D., et al. (2018). A high-quality genome sequence of Rosa chinensis to elucidate ornamental traits. Nature Plants 4, 473–484. https://doi.org/10.1038/s41477-018-0166-1

Iwata, H., Gaston, A., Remay, A., Thouroude, T., Jeauffre, J., Kawamura, K., Hibrand-Saint Oyant, L., Araki, T., and Denoyes, B. (2012). The TFL1 homologue KSN is a regulator of continuous flowering in rose and strawberry. The Plant Journal 69, 116–125.

Joyaux, F. (2001). La Rose, une Passion Française, Histoire de la Rose en France 1778-1914 (Bruxelles: Editions Complexe).

Joyaux, F. (2005). Les Roses de l'Impératrice. La Rosomanie Française au Temps de Joséphine (Paris: Editions Complexe).

Kawamura, K., Hibrand-Saint Oyant, L., Crespel, L., Thouroude, T., Lalanne, D., and Foucher, F. (2011). Quantitative trait loci for flowering time and inflorescence architecture in rose. TAG Theoretical and Applied Genetics 122 (4), 661–675.

Kawamura, K., Hibrand-Saint Oyant, L., Thouroude, T., Jeauffre, J., and Foucher, F. (2015). Inheritance of garden rose architecture and its association with flowering behaviour. Tree Genetics & Genomes 11 (2), 22. https://doi.org/10.1007/s11295-015-0844-3

Labbé, J. (2014). LOI n° 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national.

Leus, L., Van Laere, K., De Riek, J., and Van Huylenbroeck, J. (2018). Rose. In Ornamental Crops, Vol 11, J. Van Huylenbroeck, ed. (Cham: Springer International Publishing), p.719–767.

Li-Marchetti, C., Le Bras, C., Chastellier, A., Relion, D., Morel, P., Sakr, S., Crespel, L., and Hibrand-Saint Oyant, L. (2017). 3D phenotyping and QTL analysis of a complex character: rose bush architecture. Tree Genetics & Genomes 13 (5), 112. https://doi.org/10.1007/s11295-017-1194-0

Liorzou, M., Pernet, A., Li, S.B., Chastellier, A., Thouroude, T., Michel, G., Malecot, V., Gaillard, S., Briee, C., Foucher, F., et al. (2016). Nineteenth century French rose (Rosa sp.) germplasm shows a shift over time from a European to an Asian genetic background. Journal of Experimental Botany 67 (15), 4711–4725. https://doi.org/10.1093/jxb/erw269

Lopez Arias, D., Chastellier, A., Thouroude, T., Bradeen, J., Van Eck, L., De Oliveira, Y., Paillard, S., Foucher, F., Hibrand-Saint Oyant, L., and Soufflet-Freslon, V. (2020). Characterization of black spot resistance in diploid roses with QTL detection, meta-analysis and candidate-gene identification. TAG Theoretical and Applied Genetics 133 (12), 3299–3321. https://doi.org/10.1007/s00122-020-03670-5

Magnard, J.L., Roccia, A., Caissard, J.C., Vergne, P., Sun, P.L., Hecquet, R., Dubois, A., Hibrand-Saint Oyant, L., Jullien, F., Nicole, F., et al. (2015). Biosynthesis of monoterpene scent compounds in roses. Science 349 (6243), 81–83. https://doi.org/10.1126/science.aab0696

Marolleau, B., Petiteau, A., Bellanger, M.B., Sannier, M., Le Pocreau, N., Porcher, L., Paillard, S., Foucher, F., Thouroude, T., Serres-Giardi, L., et al. (2020). Strong differentiation within Diplocarpon rosae strains based on microsatellite markers and greenhouse-based inoculation protocol on Rosa. Plant Pathology 69, 1093–1107, https://doi.org/10.1111/ppa.13182

Proïa, F., Panloup, F., Trabelsi, C., and Clotault, J. (2019). Probabilistic reconstruction of genealogies for polyploid plant species. Journal of Theoretical Biology 462, 537–551.

Randoux, M., Davière, J.M., Jeauffre, J., Thouroude, T., Pierre, S., Toualbia, Y., Perrotte, J., Reynoird, J.P., Jammes, M.J., Hibrand-Saint Oyant, L., and Foucher, F. (2014). RoKSN, a floral repressor, forms protein complexes with RoFD and RoFT to regulate vegetative and reproductive development in rose. New Phytologist 202 (1), 161–173.

Redouté, P.-J., and Thory, C.-A. (1817-1824). Les Roses, 3 vols. (Paris: Firmin-Didot).

Roberts, A., Debener, T., and Gudin, S. (2003). Encyclopedia of Rose Science (Oxford: Elsevier, Academic Press). eBook ISBN: 9780080917979.

Roman, H., Rapicault, M., Miclot, A.S., Larenaudie, M., Kawamura, K., Thouroude, T., Chastellier, A., Lemarquand, A., Dupuis, F., Foucher, F., et al. (2015). Genetic analysis of the flowering date and number of petals in rose. Tree Genetics & Genomes 11 (4). https://doi.org/10.1007/s11295-015-0906-6

Roux-Cuvelier, M., Grisoni, M., Bellec, A., Bloquel, E., Charron, C., Delalande, M., Delmas, M., Didier, A., Durel, C.-E., Duval, C.-H., et al. (2021). Conservation of horticultural genetic resources in France. Chronica Hortic. 61 (2), 21–36.

Simon, L., and Cochet, P. (1906). Nomenclature de Tous les Noms de Roses, 2nd edn (Librairie Horticole).

Soufflet-Freslon, V., Araou, E., Jeauffre, J., Thouroude, T., Chastellier, A., Michel, G., Mikanagi, Y., Kawamura, K., Banfield, M., Oghina-Pavie, C., et al. (2021). Diversity and selection of the continuous-flowering gene, RoKSN, in rose. Horticulture Research 8, 76, https://doi.org/10.1038/s41438-021-00512-3

Soufflet-Freslon, V., Marolleau, B., Thouroude, T., Chastellier, A., Pierre, S., Bellanger, M.N., Le Cam, B., Bonneau, C., Porcher, L., Leclere, A., et al. (2019). Development of tools to study rose resistance to black spot. Acta Hortic. 1232, 213–220. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1232.31

Sun, P.L., Dégut, C., Réty, S., Caissard, J.C., Hibrand Saint Oyant, L., Bony, A., Paramita, S.N., Conart, C., Magnard, J.L., Jeauffre, J., et al. (2020). Functional diversification in the Nudix hydrolase gene family drives sesquiterpene biosynthesis in Rosa × wichurana. Plant Journal 104 (1), 185–199. https://doi.org/10.1111/tpj.14916

Vibert, J.-P. (1824). Essai sur les Roses, 2 (Paris: Madame Huzard), p.42–43.

Widehem, C., and Plottu, B. (2020). Dynamiques de protection des variétés de rosier en Europe. Actes du colloque «Les Mondes de la Rose – Regards Croisés» (9 et 10 mars 2020, Paris). p.21–24.

Wissemann, V., and Ritz, C.M. (2007). Evolutionary patterns and processes in the genus Rosa (Rosaceae) and their implications for host-parasite co-evolution. Plant Systematics and Evolution 266 (1-2), 79–89. https://doi.org/10.1007/s00606-007-0542-1

Zlesak, D.C., Nelson, R., Harp, D., et al. (2017). Performance of landscape roses grown with minimal input in the north-central, central, and south-central United States. HortTechnology 27, 718–730. https://doi.org/10.21273/HORTTECH03681-17

Zhou, N., Tang, K.X., Jeauffre, J., Thouroude, T., Lopez Arias, D., Foucher, F., and Hibrand-Saint Oyant, L. (2020). Genetic determinism of prickles in rose. TAG Theoretical and Applied Genetics 133, 3017–3035. https://doi.org/10.1007/s00122-020-03652-7

À PROPOS DES AUTEURS

Jérémy Clotault est professeur associé à l'Université d'Angers, France. Il travaille sur l'étude de l'histoire évolutive et de la diversité génétique des rosiers et de leurs génomes dans l'équipe GDO. *E-mail : jeremy.clotault@univ-angers.fr*

Fabrice Foucher est directeur de recherche à l'INRAE, France. Ses recherches portent sur la génomique de la floraison et de la résistance. Il a récemment coordonné un consortium international (9 équipes) qui a abouti à la publication d'un génome de rose de haute qualité dans Nature Plants et possède une grande expertise dans la coordination de projets multidisciplinaires. *E-mail : fabrice.foucher@INRAE.fr*

Agnès Grapin est professeur associé à l'Institut Agro d'Angers, France, et mène ses activités de recherche à l'IRHS dans l'équipe GDO. Ses recherches portent sur l'étude de la diversité des ressources génétiques ornementales (notamment chez le rosier), leur conservation et leur multiplication. *E-mail : agnes.grapin@agrocampus-ouest.fr*

Laurence Hibrand-Saint Oyant est ingénieur de recherche à l'INRAE, France. Elle travaille au sein de l'unité IRHS (Institut de Recherche de l'Horticulture et des Semences) dans l'équipe GDO (Génétique et Diversité des Plantes Ornementales). Ses recherches portent sur le déterminisme génétique des caractères d'intérêt du rosier et les biotechnologies. *E-mail : laurence.hibrand-saint-oyant@INRAE.fr*

Valéry Malécot est professeur agrégé de botanique à l'Institut Agro d'Angers, France, et exerce ses activités de recherche au sein de l'équipe GDO de l'unité IRHS. Ses recherches portent sur la taxonomie et la nomenclature des plantes cultivées et sauvages, ainsi que sur les liens entre évolution, histoire, sélection et classification. *E-mail : valery.malecot@agrocampus-ouest.fr*

Sophie Paillard est généticienne quantitative. Elle a une longue expérience en génétique de la résistance des plantes aux maladies. Elle a rejoint l'équipe de l'OGD en 2019 pour travailler sur la génétique et la génomique (structurale et fonctionnelle) de l'interaction entre le rosier et *Dipolocarpon rosae*. *E-mail : sophie.paillard@INRAE.fr*

Alix Pernet est généticienne végétale à l'INRAE, Institut de recherche de l'horticulture et des semences, Angers, France. Elle s'intéresse particulièrement à l'évolution de la diversité du rosier, que ce soit par sélection naturelle ou par pression anthropique. *E-mail : alix.pernet@INRAE.fr*

Vanessa Soufflet-Freslon est professeur associé à l'Institut Agro d'Angers, France. Elle travaille dans l'équipe GDO de l'unité IRHS. Ses recherches portent sur la résistance durable du rosier aux maladies foliaires, notamment la résistance génétique et l'utilisation de produits de biocontrôle. *E-mail : vanessa.soufflet-freslon@agrocampus-ouest.fr*

Cristiana Oghina-Pavie est historienne, professeur associé en histoire moderne à l'Université d'Angers, France. Ses recherches portent sur les relations entre les pratiques horticoles et les sciences végétales aux 19e et 20e siècles dans l'unité TEMOS. *E-mail : cristiana.pavie@univ-angers.fr*

Les plantes à parfum, aromatiques et médicinales en France : une filière petite mais dynamique, appuyée sur une longue tradition et sur un réseau de recherche appliquée

Annabelle Bergoënd et Joséphine Piasentin, iteipmai (Institut technique interprofessionnel français dédié à la filière des plantes à parfum, aromatiques et médicinales).

En France, le secteur des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM) désigne traditionnellement les herbes culinaires, les plantes médicinales et les plantes cultivées pour l'industrie de la parfumerie. Le secteur englobe une très grande variété de plantes : plusieurs centaines d'espèces, à mettre en regard des secteurs des grandes cultures qui n'en comptent que quelques-unes (blé, maïs…). Le taux de production en agriculture biologique est nettement supérieur à celui de l'ensemble de l'agriculture française et la cueillette sauvage est bien présente. L'économie des PPAM est vitale pour certaines zones rurales. Le secteur de la production est relativement petit, mais il est l'un des rares à connaître une croissance rapide. Il s'agit d'un secteur très diversifié et dynamique, qui s'appuie sur de solides compétences traditionnelles et bénéficie des techniques de recherche les plus récentes. Avec une demande croissante de produits naturels et des opportunités de nouveaux marchés, il est confronté à de nouvelles perspectives passionnantes.

1. Caractéristiques du secteur français

DES EXPLOITATIONS ET DES PRODUCTIONS GÉOGRAPHIQUEMENT VARIÉES

L'ensemble de la filière est difficile à appréhender.[1] Les parcelles de production représentent souvent de petites surfaces sur chaque exploitation, de nombreux producteurs cultivant quelques hectares en complément de leur production principale. D'autre part, de nombreuses PPAM ne sont pas référencées dans la nomenclature de la PAC (politique agricole commune européenne).

On estime que les ¾ des producteurs cultivent des PPAM en diversification. La surface la plus importante est occupée par les plantes à parfum, puis par les plantes médicinales ; les aromates représentent moins de 10 % de la surface cultivée en PPAM. La surface moyenne estimée d'une exploitation en 2018 était de 4 hectares pour la production de plantes médicinales et aromatiques et de 17 hectares pour les plantes à parfum.

Si la filière reste relativement bien connue en France métropolitaine, les territoires ultramarins (DROM) manquent encore d'organismes organisés pour représenter les producteurs et structurer le marché. Les agriculteurs des départements et régions d'outre-mer cultivent ou cueillent toute une série de PPAM tropicales assez différentes de celles de la métropole, dont beaucoup sont largement utilisées traditionnellement en cuisine et en médecine. L'ensemble de la filière est en cours de professionnalisation, notamment à La Réunion où une vingtaine de plantes médicinales ont été inscrites à la pharmacopée française en 2013. [2]

(1)) FranceAgriMer (2020). Marché des plantes à parfum, aromatiques et médicinales Panorama 2018. 79 p.
(2) Armeflhor (2019). Rapport technique 2019. Action 5 : Acquisition de références techniques et appui au développement du PAPAM à La Réunion.

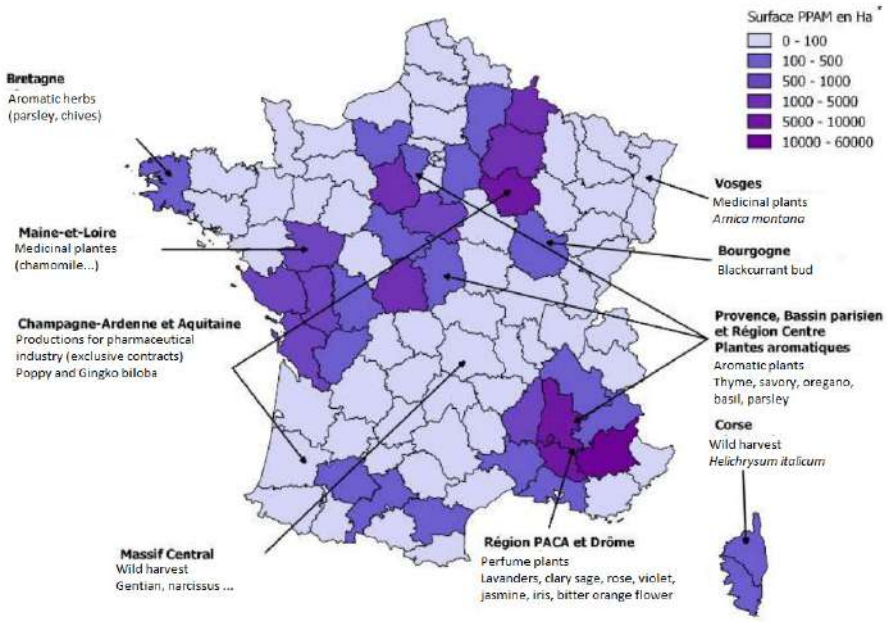


Figure 1
Répartition des surfaces de PPAM en France métropolitaine par principaux bassins de production en 2018. ©FranceAgriMer

Source
Déclarations PAC

Plantes à parfum

La production repose sur un petit nombre d'espèces. Les plus importantes sont les lavandes (lavande vraie, *Lavandula angustifolia* Mill. ; lavandin, *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel, lavande aspic, *Lavandula latifolia Medik*.) et la sauge sclarée (*Salvia sclarea L.*). La surface cultivée approchait les 30 000 hectares en 2018. Traditionnellement, le cœur de ces cultures se situe dans le sud-est du pays, principalement en Provence et dans la Drôme. De nouvelles surfaces commencent à être plantées plus au nord *(Figure 1)*.

Les producteurs sont principalement structurés en coopératives. Cette activité bénéficie d'un fort effet terroir tant au niveau national qu'international. La majeure partie de la production est exportée à l'international ; 80 % de l'huile essentielle de lavandin, par exemple, est exportée vers l'Europe, les Etats-Unis et l'Asie. La production génère un chiffre d'affaires d'environ 40 millions d'euros. Même si la concurrence internationale sur le marché des huiles essentielles est rude, la France reste le leader mondial de la production de plantes à parfum. Les surfaces de lavandes seules ont augmenté de 29 % entre 2014 et 2018.

Champ de lavandin dans le sud-est ©iteipmai. Plus de 300 espèces sont cultivées, mais trois d'entre elles représentent 70 % des surfaces cultivées en PPAM : les lavandes/lavandins et le pavot à opium *(Papaver somniferum L.)*.

Herbes aromatiques et plantes médicinales

La production nationale est répartie sur tout le territoire, englobant 23 600 hectares. Les principales régions par type de culture sont présentées en *Figure 1*. Le sud-ouest de la Loire a une tradition d'horticulture et de plantes médicinales (camomille romaine, etc.) depuis au moins le 19e siècle. La région du sud-est ne se limite pas à la lavande et produit aussi herbes de Provence, persil, basilic, etc. La Bretagne est productrice d'herbes aromatiques, tandis que plusieurs régions de l'est et du nord sont spécialisées dans les plantes médicinales. Deux grandes zones sont consacrées à la monoculture du pavot à opium (*Papaver somniferum* L.) et du ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) pour l'industrie pharmaceutique. Le pavot à opium représente à lui seul 70 % de la surface totale des plantes médicinales.

Les producteurs de plantes aromatiques et médicinales sont des exploitations souvent organisées en coopératives. Un grand nombre d'espèces différentes sont cultivées. Le basilic, la coriandre et le thym vulgaire sont les plantes aromatiques les plus représentatives en volumes commercialisés ainsi qu'en valeur de commercialisation en 2018 ; la mélisse, le châtaignier ou l'arnica des montagnes sont les principales plantes médicinales en termes de volumes commercialisés de, tandis que la sauge officinale génère la valeur la plus importante. Les cultures de plantes aromatiques ont diminué depuis 2017 mais les surfaces médicinales et aromatiques ont augmenté entre 2014 et 2018. À La Réunion, la filière aromatique est dominée par le géranium odorant cultivé (*Pelargonium* sp.) et le vétiver (*Chrysopogon zizanioides*). La cueillette sauvage y est en tête pour les plantes médicinales.[3]

TRANSFORMATION : L'ÉCONOMIE EN AVAL DÉTERMINE LES STRATÉGIES DE CULTURE

La segmentation habituelle des plantes médicinales, aromatiques et à parfum n'est qu'une segmentation fonctionnelle liée à la destination des produits. Le fenouil, par exemple, peut être cultivé à des fins médicinales ou culinaires. Cependant, les applications industrielles étant différentes, les techniques de production, les acheteurs, les prix, etc. sont très différents, ce qui détermine les stratégies des producteurs.

Les PPAM sont présentes dans plus d'un millier de produits différents. Les plantes à parfum fournissent des huiles essentielles et des extraits pour la parfumerie, les cosmétiques, l'aromathérapie, l'industrie des détergents, etc. Les plantes aromatiques fournissent des huiles essentielles et des extraits, des produits secs et congelés pour l'industrie alimentaire, l'industrie des tisanes, l'aromathérapie, les compléments alimentaires, etc. Les plantes médicinales fournissent des huiles essentielles et des extraits, des produits secs et congelés pour la phytothérapie, l'homéopathie, l'aromathérapie, l'industrie pharmaceutique, les cosmétiques, l'industrie des tisanes et les compléments alimentaires. L'ensemble du secteur industriel représente **un chiffre d'affaires de 5 milliards d'euros.**

L'émergence de nouveaux marchés au cours des dernières années est significative : **bien-être animal** (diminution du niveau de stress et renforcement du système immunitaire grâce aux extraits de plantes dans un contexte réglementaire imposant une réduction de l'usage des antibiotiques), **antioxydants, élicitation des cultures** (aider à protéger les cultures contre les maladies et le stress) et **biocontrôle** (utilisation d'extraits de plantes comme moyen de dissuasion contre les ravageurs ou comme agent d'attraction des prédateurs et parasitoïdes des ravageurs), **industrie vinicole** (alternatives à l'ajout de sulfites), etc.

90 % de la production totale est consacrée aux extraits de plantes. La production de PPAM peut donc être considérée comme une production de métabolites secondaires (voir encadré ; c'est moins vrai pour les plantes aromatiques). La qualité et la quantité d'huiles essentielles et d'autres composés actifs sont des facteurs essentiels pour assurer une bonne récolte au producteur.

Les métabolites secondaires sont des composés qui ne jouent aucun rôle dans les mécanismes biologiques de base (le métabolisme primaire), mais qui confèrent aux organismes un avantage en termes d'adaptation. Leur production induit un certain coût pour la plante et est souvent la conséquence d'un stress biotique ou abiotique. Par exemple, les composés volatils synthétisés par les sous-arbrisseaux méditerranéens (thym, lavande…) aident la végétation à se refroidir et la rendent moins appétente pour les insectes phytophages. Certains métabolites secondaires protègent contre les maladies, dissuadent les insectes, attirent les organismes bénéfiques ou constituent un moyen de communication entre les espèces.

Des dizaines de milliers de molécules sont produites de cette manière ; elles peuvent être séparées en grandes familles chimiques telles que les polyphénols, les terpènes et les stérols, les alcaloïdes, etc. Leur concentration dans les plantes est extrêmement faible ; elles sont généralement uniquement à l'intérieur de cellules ou d'organes de stockage spécifiques. Par conséquent, la compétitivité de la production dépend de la proportion de ces substances actives dans la plante. Cette proportion peut être améliorée par l'adaptation de l'itinéraire de culture et par la sélection de chimiotypes, c'est-à-dire de clones dont la composition chimique est fixe et bien connue.

(3) Armeflhor, Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et HORticole, http://www.armeflhor.fr

L'impact de la demande sociétale

La demande sociétale en produits naturels est forte et croît rapidement. Cela vaut pour de nombreux secteurs industriels. Par conséquent, les opportunités pour les PPAM d'utilisation potentielle ont augmenté au cours des dernières années. Les consommateurs ont également tendance, au niveau mondial, à accepter de payer plus cher pour une meilleure qualité et pour des produits d'origine naturelle[4]. Le prix de vente augmente déjà sur le marché biologique des plantes aromatiques et pour les produits à base de plantes qui sont certifiés par un signe de qualité français ou européen[5][6]. A titre d'exemple, l'IGP Thym de Provence, obtenue en 2018 en Provence, a induit une augmentation des ventes de 9 tonnes sur la première année ; de même, les ventes d'Herbes de Provence " Label Rouge " ont augmenté de 33 % entre 2017 et 2018[7].

Une tendance à la relocalisation de la production sur le territoire national est déjà perceptible : des entreprises leaders dans l'industrie pharmaceutique, nutraceutique et de la parfumerie relèvent le défi. Elles espèrent ainsi répondre aux préoccupations des consommateurs et améliorer leur image. Cela révèle également un engagement à assurer la régularité de l'approvisionnement en quantité et en qualité. Les consommateurs valorisent de plus en plus les produits traditionnels et les productions locales.

2. Perspectives pour des productions durables

Une activité importante pour les zones de montagnes

D'un point de vue économique,

le secteur de la lavande reste relativement petit. La culture de la lavande est principalement située dans des zones montagneuses sèches qui ne connaissent que peu d'autres alternatives économiques.

Ainsi, dans certaines zones, les champs de lavande soutiennent l'économie de régions entières. L'activité produit des ressources directes provenant de la distillation l'huile essentielle, qui est généralement locale, ainsi que de la vente des fleurs en bouquet ou en sachets parfumés. Les champs de lavande fournissent également des revenus substantiels provenant de l'industrie du tourisme, profitant ainsi à des zones plus étendues. Enfin, les revenus générés par le miel de lavande sont équivalents à ceux tirés de l'huile essentielle de lavande. Au-delà de la seule lavande, un tiers de la production de plantes aromatiques et médicinales a lieu dans des zones de montagne défavorisées.

La cueillette de plantes vient s'ajouter à la culture. Certaines espèces font principalement l'objet de cueillette, comme la reine des prés ou l'arnica, alors que d'autres sont presque toujours cultivées comme le persil ou les camomilles (camomille romaine, camomille matricaire). La cueillette sauvage a tendance à se limiter à certaines zones, comme en montagne (Massif central, Vosges) ou dans des parcs naturels. Les plantes sont cueillies pour les industries pharmaceutique, cosmétique ou de l'infusion. L'impact socio-économique, positif, est difficile à estimer ; certains cueilleurs sont des agriculteurs qui récoltent des plantes sauvages pour obtenir un complément de revenu, d'autres dépendent entièrement de cette activité de niche.

Arnica des montagnes (*Arnica montana* L.).
©Tela Botanica - JJ Houdré

Cette plante médicinale pousse spontanément dans certaines prairies de montagne. Des expériences de culture sont conduites par le réseau de recherche appliquée PPAM afin de contribuer à la protection de la ressource naturelle.

(4) The Nielsen Company (2015). The Sustainability Imperative - New Insights on Consumer Expectations. Global sustainability report. 2015.
(5) p. ex. appellation d'origine protégée AOP, indication géographique protégée IGP, spécialités traditionnelles garanties.
(6) Marecaux C., Sauvage C. Vignal J.S. et Chatagnon F. (2019). Étude d'image : IGP " thym de Provence " et herbes de Provence Label Rouge. Rapport préparé pour FranceAgriMer, 181 p.
(7) FranceAgriMer (2020). Marché des plantes à parfum, aromatiques et médicinales Panorama 2018. 79 p.

L'agriculture à faible impact : un atout pour le développement durable

La production de PPAM, qu'il s'agisse de culture ou de cueillette, a un impact faible sur l'environnement. Peu d'intrants chimiques sont utilisés, en partie parce que ce n'est pas un rendement élevé en biomasse qui est recherché mais plutôt une bonne qualité et une forte teneur en principes actifs. En outre, la part de l'agriculture biologique est élevée (*Figure 2*). 16,5 % de la production de PPAM est biologique (contre 7,5 % de l'ensemble de l'agriculture française). Entre 2008 et 2018, les surfaces cultivées en bio (certifiées et en conversion) ont augmenté de 173 % tandis que le nombre d'exploitations bio a augmenté de 280 %. Certaines plantes comme le safran (*Crocus sativus* L.) sont presque entièrement produites en bio. En outre, les cultures de PPAM combinent souvent des parcelles de cultures différentes dans une même exploitation et un grand nombre d'espèces sont mellifères. L'agriculture de PPAM a donc des effets positifs sur la biodiversité et l'environnement en général.

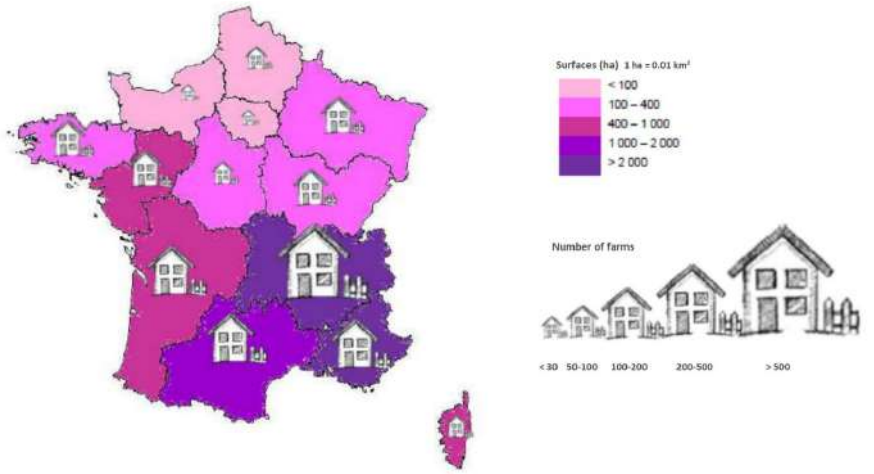


Figure 2
Nombre et surfaces des exploitations (certifiées bio et en conversion) par région en 2018. ©FranceAgriMer[8] ; chiffres de l'AgenceBio

Recherche appliquée et expérimentation sur le terrain

Un réseau d'organismes est chargé de répondre aux besoins du secteur des PPAM, de la production à l'extraction des principes actifs. Ce réseau comprend le Conservatoire national des PPAM (CNPMAI)[9], un centre d'expérimentation régional basé en Provence (CRIEPPAM)[10] et un institut technique pour le développement du secteur (iteipmai)[11]. Parmi les nombreuses activités entreprises par ce réseau, l'amélioration des itinéraires techniques et agronomiques est un élément important. Chaque plante a des besoins agronomiques propres, de même les procédés de transformation peuvent être très différents d'une espèce à une autre, le réseau s'efforce donc de fournir aux agriculteurs une expertise et des informations précieuses issues de l'expérimentation de terrain. La sélection variétale est au centre de la recherche appliquée. Parce qu'elles ont été relativement peu sélectionnées pour l'industrie, la diversité génétique des espèces de PPAM est encore très élevée. En outre, les caractéristiques souhaitables sont souvent héréditaires. C'est pourquoi de nombreux projets de sélection ont déjà permis de doubler la teneur en principes actifs. Ce niveau d'amélioration est généralement beaucoup plus difficile à atteindre lorsque l'on intervient sur d'autres caractères que la génétique. C'est pourquoi la création variétale est le moyen privilégié pour augmenter la productivité, s'adapter à l'évolution des conditions environnementales et à la pression des maladies et des parasites, ainsi que pour mieux satisfaire le marché. Ce processus permet aux producteurs d'avoir accès à des semences ou à des boutures performantes. Il fournit également à l'industrie des extraits stables, à la fois en termes de teneurs en principes actifs et de composition phytochimique. Le développement d'un matériel végétal sélectionné pour présenter le meilleur intérêt agronomique, industriel et économique est essentiel pour garantir aux producteurs une activité durable et rentable et pour fournir à l'industrie des ingrédients de haute qualité qui peuvent être transformés en produits innovants, sûrs et efficaces.

Comment la recherche appliquée répond aux problématiques de la filière PPAM

Un projet multi-approches pour lutter contre le mildiou du basilic

Le chiffre d'affaires du basilic s'élève à plus de 20 millions d'euros pour la production en plein champ. Il s'agit également d'un produit phare des ventes d'aromates en pot, qui offre des possibilités de diversification aux producteurs de fleurs. Le mildiou du basilic, maladie fongique apparue dans les années 2000 et qui s'est propagée à l'échelle mondiale, peut détruire un champ entier en quelques jours seulement[12]. L'iteipmai, en partenariat avec plusieurs organismes techniques et scientifiques[13], a lancé un projet visant à proposer un ensemble de solutions clés en main. Ce projet, baptisé Basimil, a reçu un prix ITA'Innov en 2019[14] pour l'originalité de son concept.

Contrôle : réduire la pression des pathogènes au lieu de chercher à les éradiquer

Les études préalables ont montré que le pathogène pouvaient être retrouvé dans les semences. Le projet Basimil vise donc à désinfecter les semences afin de diminuer la pression de l'inoculum. Différentes approches ont été testées : conventionnelle, en utilisant le biocontrôle et avec des méthodes thermiques. Parallèlement, un nouveau test a été mis au point par le GEVES (Groupe d'Etude et de Contrôle des Variétés et des Semences)[15] pour déterminer avec certitude le niveau d'infestation des lots de semences.

La sélection

95 % du marché est dominé par un type de basilic appelé 'Grand vert'. Le défi consistait à créer une variété résistante qui soit également capable de répondre aux exigences très spécifiques de ce marché. Après une première série de croisements de variétés présentant de bons niveaux de tolérance à la maladie, une variété présentant une bonne tolérance a été sélectionnée. Un rétrocroisement répété des parents de la variété obtenue a été effectué avec 'Grand vert' afin d'obtenir à la fois les caractéristiques organoleptiques et de rendement exigées par le marché tout en conservant le caractère de résistance. Ces variétés de transition sont déjà testées avec succès sur le terrain par les producteurs.

Approche systémique

Le développement d'un système d'aide à la décision par le biais d'un modèle de prévision basé sur les conditions météorologiques aide les producteurs à anticiper le risque. Cela va de pair avec des pratiques agronomiques adaptées visant à optimiser la densité au champ et celle des cultures en pots.

Utilisation d'outils génomiques pour le secteur français de la lavande

Jusqu'à présent, les populations de lavande ont été principalement obtenues par sélection massale en collectant dans la nature les meilleurs individus et populations. Cependant, les nouveaux défis environnementaux comme la sécheresse et les stress biotiques (principalement le dépérissement de la lavande causé par le phytoplasme *Candidatus* Phytoplasma solani), ont souligné la nécessité de sélectionner de nouvelles variétés adaptées à ces stress, tout en conservant de bons rendements en huile essentielle et une qualité conforme aux normes du marché[16]. Dans ce contexte, les méthodes de sélection assistée par la génomique sont apparues comme un bon moyen d'améliorer l'efficacité des programmes de sélection.

C'est pourquoi l'iteipmai en partenariat avec le Crieppam, l'Inra EPVG[17] et Vegepolys Valley[18] a mené un projet nommé « Genoparfum » entre 2015 et 2017, pour étudier la génétique des populations de lavande. L'objectif du projet était de créer des ressources génomiques nécessaires au développement de ces nouvelles stratégies de sélection variétale. Le travail a été effectué sur le clone de lavande hétérozygote « Maillette ». Ce clone a été utilisé comme référence pour le séquençage de l'ADN et de l'ARN et à partir de ces données, les séquences complètes des gènes ont été reconstruites. L'équipe de recherche a obtenu une référence nettoyée de 8 000 gènes impliqués dans divers processus biologiques, y compris la réponse des plantes aux stress biotiques et abiotiques[19]. Enfin, l'équipe a utilisé ces ressources pour l'extraction de marqueurs SNP (Single Nucleotide Polymorphism) au sein d'une collection de 16 clones commerciaux de lavande et a testé les SNP dans le cadre d'une analyse phylogénique.

Toutes les connaissances issues de ce projet ont été utilisées pour lancer le projet « Genolavande ». Ce second projet est mené depuis 2018 par l'iteipmai en partenariat avec l'Inra EPGV19, le Crieppam et la Chambre d'Agriculture de la Drôme[20].

Aujourd'hui, l'objectif du projet Genolavande est de développer un outil de génotypage à partir des SNP détectés dans Genoparfum et de mettre en place de nouvelles stratégies de sélection assistée par marqueurs pour *Lavandula angustifolia* Mill. Ce projet est en cours, et un outil de génotypage basé sur 3 000 SNP a déjà été construit et est en cours de test. Les deux projets sont principalement financés par le ministère en charge de l'agriculture par le biais de fonds Casdar. Les résultats seront présentés au colloque IHC 2022 et leurs impacts seront discutés.

(9) CNPMAI, https://www.cnpmai.net/fr

(10) CRIEPPAM, http://crieppam.fr

(11) Iteipmai, https://www.iteipmai.fr/

(12) Cohen Y., Ben Naim Y., Falach L. et Rubin A. E. (2017). Epidemiology of Basil Downy Mildew. Phytopathology 107(10): 1149-1160.

(13) BHR bureau horticole régional (http://bhr-vegetal.com) ; Vegenov, (https://vegenov.com) ; GEVES (https://www.geves.fr/geves) ; Astredhor, institut technique d'horticulture (https://www.astredhor.fr).

(14) Acta ITA'Innov https://www.acta-itainnov.com/ .

(15) GEVES - Expertise & Performance https://www.geves.fr/ .

(16) ITEIPMAI, CNPMAI, et CRIEPPAM (2019). Rapport technique 2018 du réseau PPAM.

(17) Inrae EPVG, Etude du Polymorphisme des Génomes Végétaux https://www6.versailles-grignon.inrae.fr/epgv/

(18) VEGEPOLYS VALLEY, https://www.vegepolys-valley.eu

(19) Fopa Fomeju B., Brunel D., Bérard A. et al. (2020). Quick and Efficient Approach to Develop Genomic Resources in Orphan Species: Application in Lavandula Angustifolia. PLoS ONE 15(12): e0243853.

Cet article est une traduction d'un article paru en anglais dans la revue Chronica Horticulturae en 2020. Des données chiffrées plus récentes sont disponibles dans le dernier Panorama de FranceAgriMer à l'adresse suivante https://www.franceagrimer.fr/content/download/71143/document/Panorama_PPAM_2021_VD.PDF. Pour les données d'ordre scientifique et technique, vous pouvez contacter l'iteipmai, iteipmai@iteipmai.fr

IHC 2022

ANGERS – FRANCE

UNDER THE AUSPICES

ISHS

CONVENING INSTITUTIONS

DESTINATION angers · VEGEPOLYS VALLEY · INRAE · L'INSTITUT agro Rennes Angers · université angers · cirad

Special thanks to our partners, sponsors and exhibitors

UNDER THE HIGH PATRONAGE OF

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION

PREMIUM SPONSORS

PLATINIUM SPONSOR: inVivo retail

GOLD SPONSOR: BAYER

SILVER SPONSOR: TERRENA · HORTIVAL · ifo · VOLTZ

SPONSORS

agreenium · AgroFair · agropolis fondation · BlueWhale · CABI · COMPAGNIE FRUITIERE · CPVO · OCVV · MDLF · UA FONDATION · horticulturae · LAGRE · objectif végétal · PREMIER TECH · RIJK ZWAAN · SAKATA PASSION in Seed · SIVAL · SNHF · star fruits · TECHNISEM · vitropic

OTHER EXHIBITORS

AGRI LOGIC · AGROSEMENS · AREFLH · BEVER INNOVATIONS · Canadian Sphagnum Peat Moss · Tourbe de Sphaigne Canadienne · Créneau d'excellence Tourbe et substrats · ACCORD Québec · colasse · COLETTE THURILLET Naturalist painter · CONVIRON · ili · KNOWLEDGE TRANSFER · Ecomatik We make Your plants talk! · hiphen · labassociates · SDEC · Signe Nature · SOFRUILEG · synlyte · Vegenov · Vivent · SITIA

Host City IHC2026 · IHC 2026 Kyoto

PUBLIC SUPPORTS

Angers · angers loire métropole · anjou · Région PAYS de la LOIRE · CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE

PREMIUM PARTNERS

Interfel · CTIFL · Aprifel · VALHOR · ANGERS SUPERNATURE

PARTNERS

acta · armeflhor · ASTREDHOR · eSA · Food and Agriculture Organization of the United Nations · FNAMS · GEVES · IFPC · IFV · istom · iteipmai · Plante&Cité · RESO'THEM

OFFICIAL SUPPLIERS

ANJOU SAUMUR VIN ROYAL DE LOIRE · VAL DE LOIRE · COINTREAU · GIFFARD · Tapelle Mer · dream ACT · Grand Ouest · l'espoir